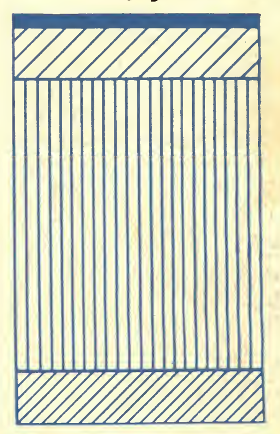
И.М. ЛИТВИНОВ

# глубинное укрепление и уплотнение просадочных грунтов



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОССТРОЯ СССР

И. М. ЛИТВИНОВ,
доктор технических наук

# ГЛУБИННОЕ УКРЕПЛЕНИЕ И УПЛОТНЕНИЕ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «БУДІВЕЛЬНИК»
Киев — 1969

Научно-исследовательский институт строительных конструкций Госстроя СССР. Литвинов И. М. Глубинное укрепление и уплотнение просадочных грунтов. 1969, стр. 184. 6С1 Л 64

В книге приведены некоторые результаты проведенных автором исследований просадочных лессовых грунтов в Украинской ССР и особенности индустриального строительства в сложных грунтовых условиях республики с основными результатами экспериментального строительства на просадочных грунтах большой мощности и подрабатываемых территориях. Описаны разработанные и рекомендуемые автором приборы и методики для исследований и способы укрепления и уплотнения грунтов и более подробно — новый ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и энергией взрывов. Даны результаты экспериментально-исследовательских работ, а также основные данные лабораторных, полевых и сейсмических исследований, проведенных по этому способу. Приведены рекомендации по применению этого способа в строительстве с основными требованиями к проектированию, производству работ, областям применения и экономическими показателями.

Книга рассчитана на специалистов проектных, строительных и научно-исследовательских организаций, а также преподавателей и студентов высших учебных заведений.

Рисунков 71. Таблиц 24. Библиографий 92. УДК 624.138

КИЕВСКАЯ КНИЖНАЯ ТИПОГРАФИЯ № 6.

3—2—6
66—69М

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Сложные грунтовые условия для строительства почти по всей территории Украинской ССР создают затруднения и осложнения как при возведении зданий и сооружений, так и в процессе их эксплуатации, особенно при наличии мощных отложений просадочных лессовых грунтов.

Учитывая актуальность этой проблемы, в СССР через каждые 2 года проводятся всесоюзные совещания, посвященные вопросам укрепления и уплотнения различных слабых и просадочных лессовых грунтов для строительных целей. Однако арсенал имеющихся способов укрепления и уплотнения грунтов новыми, более надежными и эффективными, пополняется медленно, и много весьма актуальных вопросов по-прежнему не решено. Поэтому при проектировании и строительстве зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях Украинской ССР возникает много неясных вопросов, и часто их решение является весьма дорогим и трудоемким.

В этой книге кратко описано несколько способов укрепления и уплотнения слабых и просадочных грунтов, предложенных и разработанных автором, а затем более подробно рассмотрен новый ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и энергией взрывов, предложенный и разработанный автором в НИИСКе Госстроя СССР (авторское свидетельство № 183131 с приоритетом от 5 апреля 1963 г.).

Правильный выбор способов строительства в сложных грунтовых условиях зависит от многих инженерно-геологических факторов, поэтому в книге кратко освещены основные вопросы, от решения которых зависит правильное применение тех или иных способов укрепления или уплотнения слабых или просадочных грунтов. В частности, охарактеризованы грунтовые условия Украинской ССР, и особенно лессовые грунты, занимающие в республике свыше 70% ее территории и обладающие различными просадочными и строительными свойствами, часто резко различающимися даже для одной строительной площадки. Приводятся краткие данные о имевших место наиболее типичных

просадочных явлениях и результатах их исследований, а также некоторые данные о результатах изучения в лабораторных и натурных производственных условиях различных водозащитных мероприятий, применяемых или рекомендуемых при строительстве на просадочных лессовых грунтах.

Эти сведения могут быть использованы при установлении просадочных и строительных свойств грунтов в зависимости от грунтовых условий (степени их просадочности, мощности, условий залегания), конструктивных характеристик возводимых зданий и сооружений и др. для правильного выбора способа укрепления или уплотнения слабых грунтов.

Описано, как несложным путем с высокой точностью определять непосредственно на строительных площадках или в лабораторных условиях строительные свойства грунтов и степень их просадочности, чтобы более полноценно использовать их несущую способность. При этом, если применять приборы ПЛЛ-9, серийно изготовляемые Харьковским государственным заводом маркшейдерских инструментов, снижается стоимость изыскательских работ, сокращаются сроки их проведения и повышается качество исследований. За высокие показатели в работе эти приборы в 1961 г. были награждены Дипломом 1-й степени и Большой Золотой медалью ВДНХ СССР. Поэтому более широкое их применение позволит полноценнее использовать несущую способность грунтов и точнее устанавливать просадочные свойства, что даст возможность более правильно выбирать те или иные способы укрепления или уплотнения грунтов.

Кратко освещены особенности индустриального крупнопанельного строительства в сложных грунтовых условиях Украинской ССР с основными результатами экспериментально-исследовательских работ по натурным испытаниям специально возводимых опытных крупнопанельных домов на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях, выполнявшихся в республике рядом научных, проектных и строительных организаций (ЮжНИИ, ДонНИИ и др.) под научным руководством автора. Эти данные позволяют критически подходить к вопросам применения тех или иных способов укрепления или уплотнения слабых грунтов в основаниях проектируемых зданий и сооружений.

Приведены общие данные о разных способах укрепления и краткие данные о нескольких предложенных и разработанных автором способах укрепления и уплотнения слабых и просадочных лессовых грунтов для разных условий и областей применения. В частности, даны основные теоретические и расчетные обоснования термического и термохимического способов глубинного укрепления просадочных лессовых грунтов в основаниях различных зданий и сооружений, получивших применение в СССР и за рубежом и позволяющих полностью устранять просадочные свойства грунтов и надежно возводить на них различные здания

и сооружения, а также быстро и оперативно ликвидировать аварийные состояния ранее построенных зданий при опасных неравномерных осадках. Ряд других новых предложений автора освещается в печати впервые.

При описании нового ускоренного метода глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и энергией взрывов приводятся данные, характеризующие отличительные особенности этого способа, результаты его экспериментальной проверки в полупроизводственных и производственных условиях, основные требования к необходимым механизмам, примеры разработанных проектов с применением этого способа и данные экономики. В 1964—1965 гг. в соответствии с решением технического совета Госстроя УССР НИИСКом Госстроя СССР совместно с Министерством строительства Украинской ССР и строительным комбинатом Запорожстрой была проведена принципиальная проверка этого способа в натурных полупроизводственных условиях на специальном экспериментальном участке НИИСКа в Запорожье. Выполненные исследования подтвердили высокую эффективность и надежность этого способа уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности, позволяющего во много раз быстрее достигать стабилизации просадок на заданном участке при одновременном значительном повышении степени уплотняемости грунтов, уменьшении расходов воды и сокращении зон замачивания в плане по сравнению с тем, что имеет место при общеизвестных аналогичных способах.

После успешного проведения этих полупроизводственных экспериментальных исследований в 1967 г. под руководством автора впервые применен этот способ в производственных условиях при строительстве 120-квартирного крупнопанельного дома в Запорожье на просадочных лессовых грунтах большой мощности, залегающих на глубину до 20 *м*.

Несмотря на большие трудности и сложности в проведении работ, вызванные тем, что уплотняемый участок находился в центре застроенного района, были получены положительные результаты. Так, например, в течение 1 месяца при небольших затратах было уплотнено около 45000 $м^3$ просадочных лессовых грунтов, и сразу после окончания этих работ на уплотненном основании был построен в течение 3 месяцев крупнопанельный дом квартальной застройки без всяких конструктивных мер, обычно применяющихся в данных грунтовых условиях. Было сэкономлено свыше 30 *т* металла и 105 тыс. руб. при строительстве этого дома.

В процессе производства взрывных работ были выполнены исследования по сейсмическому воздействию разных по величине и характеру взрывов на уплотняемые грунты и окружающие здания и сооружения с целью предварительного установ-

ления: оптимальных весов взрываемых зарядов; возможности применения групповых взрывов с миллисекундным замедлением; времени замедления между взрывами отдельных зарядов; схем взрывания и безопасных расстояний от мест взрывов до охраняемых зданий.

Проведенные в 1967 г. значительные по объемам исследования на строительстве 120-квартирного дома в условиях сплошной городской застройки Запорожья показали, что новый способ является надежным, экономичным, перспективным и наименее трудоемким для устранения просадочности лессовых грунтов большой мощности. Примерная стоимость уплотнения 1 $м^3$ грунта составляет 40—60 коп.

В приложениях приведены краткие рекомендации по применению этого способа в строительстве и список литературы, более подробно освещающей вопросы, затронутые в книге.

Приведенные в книге результаты отдельных рекомендаций были одобрены на ряде научных конференций, конгрессов и симпозиумов как в СССР, так и за рубежом. В частности, с научными сообщениями и докладами по этим вопросам автор выступал в Англии и Франции на IV и V Международных конгрессах по механике грунтов и фундаментостроению (Лондон, 1957 г., Париж, 1961 г.); в США на нескольких научных симпозиумах по механике грунтов и фундаментостроению в Иллинойском, Калифорнийском, Массачусетском университетах, а также в Президиуме Американской Национальной Академии наук в 1959 г.; в Индии на 1, 2, 3 Региональных научно-технических симпозиумах по несущей способности грунтов, основаниям и фундаментам в 1961, 1964 и 1967 гг.; в Чехословакии на Национальной конференции по механике горных пород в инженерно-строительной практике (1958 г.) и др.

Замечания и пожелания по книге просим направлять по адресу: Киев, Владимирская, 24, издательство «Будівельник».

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В УКРАИНСКОЙ ССР

## Просадочные лессовые грунты Украинской ССР

В Программе построения коммунистического общества в СССР подчеркивается, что успех нашего движения к коммунизму и подъем уровня жизни советских людей зависят от того, насколько мы сможем ускорить и удешевить строительство, повысить его качество, эффективно и разумно использовать капитальные вложения.

В решении этих задач большая роль принадлежит фундаментостроителям. Часто приходится строить сложные и ответственные здания и сооружения не на удобных, надежных и устойчивых грунтах, а на опасных для возводимых сооружений подрабатываемых территориях, просадочных или набухающих грунтах, в оползневых районах, на болотистых заторфованных отложениях, плывунах и других разновидностях неустойчивых и слабых грунтов. При этом необходимо обеспечить надежность и долговечность возводимых зданий и сооружений, не допуская повышения стоимости строительства. Сложные грунтовые условия обычно мешают нормальному ходу строительных работ, укорачивают сроки службы сооружений, вызывают деформации сооружений вплоть до их разрушения, что наносит непоправимый ущерб населенным пунктам, промышленным предприятиям, железным и шоссейным дорогам и сельскому хозяйству.

В 1966—1970 гг. расходы на устройство фундаментов у нас достигают огромных размеров, превышая 2 млрд. руб. в год, т. е. каждый процент экономии стоимости при устройстве оснований и фундаментов выражается в 20 000 000 руб. Следует также учитывать, что на устройство фундаментов расходуется до 40% времени и до 25% всех трудозатрат на строительные работы. Ошибки, допускаемые при возведении фундаментов, приводят либо к излишним неоправданным затратам, либо к разрушению отдельных зданий и сооружений, что требует в последующем часто очень значительных дополнительных затрат.

Все это свидетельствует о громадной экономической значимости вопросов, связанных с совершенствованием методов исследования, проектирования и способов производства работ в сложных грунтовых условиях. В связи с этим наиболее полно-

ценное использование строительных свойств грунтов, а также разработка и усовершенствование методов искусственного уплотнения и закрепления слабых грунтов являются актуальнейшими вопросами современной строительной практики.

Широкий диапазон сложных грунтовых условий в нашей республике представляет большие затруднения для строителей в связи с необходимостью обеспечения надежности и долговечности проектируемых и возводимых зданий и сооружений при минимальных затратах. Важность решения этих вопросов усугубляется и тем, что в послевоенные годы на территории Украинской ССР вошли и входят в строй грандиозные промышленные и гражданские сооружения, нормальная эксплуатация которых, наряду с другими условиями, в значительной степени зависит от прочностных и других свойств грунтов, залегающих в основании их фундаментов.

Сложные задачи стоят перед строителями Украинской ССР и при возведении различных зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Здесь возможные неравномерные осадки фундаментов, достигающие 1000 *мм* и более, дополнительно усугубляются значительными горизонтальными смещениями грунта в основаниях фундаментов, достигающими 10 *мм* и более на протяжении каждого метра длины и ширины здания. В то же время исходные расчетные параметры процессов сдвижения земной поверхности при подземных выработках еще крайне проблематичны и не могут удовлетворять проектировщиков и строителей при установлении ожидаемых расчетных деформаций грунтов в процессе проектирования зданий и сооружений. Строительство же на подрабатываемых территориях необходимо и фактически неизбежно, хотя стоимость ремонта жилых зданий и промышленных сооружений на подрабатываемых территориях ежегодно исчисляется многими миллионами рублей. Только известные усредненные затраты на восстановительный ремонт зданий после подработки территории достигают 8% от их общей балансовой стоимости.

Наиболее сложными для украинских строителей являются просадочные лессовые грунты, занимающие свыше 70% всей территории республики и имеющие самые разнообразные свойства.

Сложные грунтовые условия для строительства на просадочных грунтах наглядно характеризуются представленными на рис. 1—5 наиболее типичными просадочными явлениями в лессовых грунтах Украинской ССР, впервые изученными автором в 1935—1939 гг. Размеры показанных здесь просадок достигали до 250 *м* по длине и до 80 *м* по ширине. Например, у ливневой канализации цеха малых агрегатов Никопольстроя (рис. 1—3) вертикальное понижение поверхности земли превышало 1,5 *м*. При этом образовывались трещины в грунте глубиной до 7 *м*,

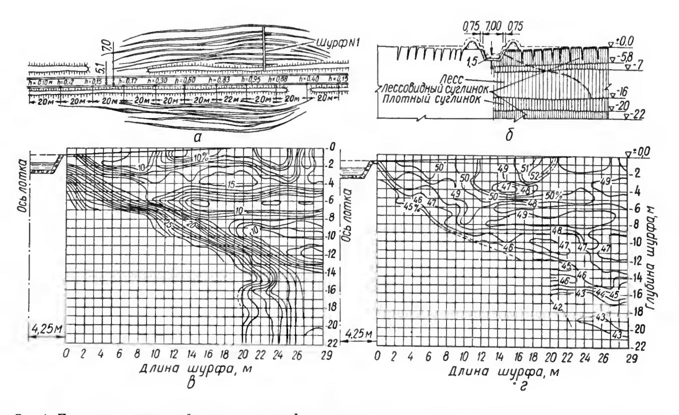



Рис. 1. Просадочная зона в районе лотка ливневой канализации:

*а* — план просевшей части лотка с просадочными трещинами в грунте; *б* — разрез по шурфу № 1 (пунктиром показаны очертания разреза до просадки; максимальная просадка около 1,5 *м*); *в* — распределение показателей весовой влажности грунта, проц., в изолиниях по сечению шурфа № 1 (ширина 1 *м*, длина 23 *м* и глубина 22 *м*); *г* — распределение показателей пористости грунта, проц., в изолиниях по сечению шурфа № 1.

шириной до 0,3 *м* с вертикальными сбросами до 0,2 *м*. Для исследования этой просадки была отрыта в поперечном направлении от оси траншея глубиной 22 и длиной 29 *м*, из которой

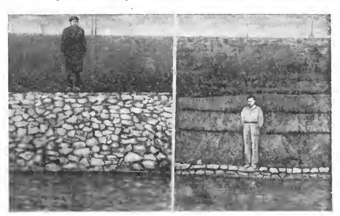


Рис. 2. Сохранившаяся (слева) и просевшая (справа) на 1,5 *м* часть лотка ливневой канализации.

через каждый метр по глубине и длине отбирались по 3—5 монолитов грунта ненарушенной структуры и проводилось всестороннее исследование физических, фильтрационных и просадочных свойств грунтов. Некоторые результаты исследований приведены на рис. 1. Аналогичные исследования автором были про-

Рис. 3. Трещина в грунте вдоль просевшей части лотка ливневой канализации (размеры трещины: ширина 300 *мм*, глубина 6—8 *м*, длина более 100 *м*).

ведены по многим другим просадочным явлениям, и на основе этого был дан анализ сущности просадочных явлений и причин их образования с соответствующими рекомендациями для строительства на разных типах просадочных грунтов. На основе этих исследований были также рекомендованы соответствующие методики, при помощи которых можно было определять величины просадки грунта по глубине просадочных зон.

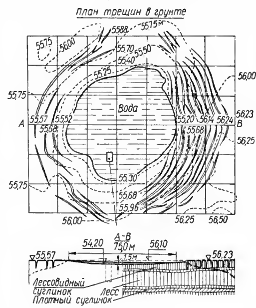
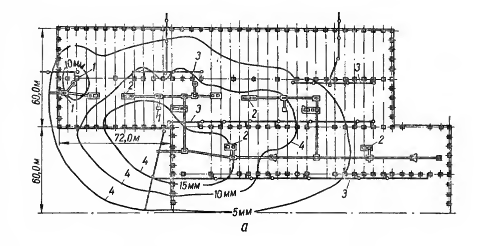



Рис. 4. Просадочная зона от сосредоточенного источника замачивания (максимальная просадка 1,5 *м*).

На рис. 6 и 7 и в табл. 1 и 2 показаны некоторые результаты проведенных автором (1939 г.) экспериментальных исследований по изучению законов распространения влажности в просадочных лессовых грунтах на моделях и в натурных производственных условиях. В частности, на рис. 6 изображены отдельные этапы исследований на нескольких лабораторных грунтовых моделях во время их опытных увлажнений разными источниками замачивания. По потемнениям увлажненного грунта наглядно видны зоны распространения влажности. Источники увлажнения грунта были расположены в местах, указанных на моделях стрелками. На этих грунтовых моделях размером 45×70 *см* каждая размещались по 2—4 разных фундамента, отличавшихся своей конструкцией либо степенью водозащиты. Для лучшего использования моделей фундаменты объединялись по два вокруг одной вертикальной оси. Отдельные этапы распространения влажности в грунте этих моделей фиксировались через разные интервалы времени.

Лабораторными, а затем производственными опытами было установлено, что применение водозащитных экранов как самостоятельных элементов водозащиты, так и в сочетании с другими водозащитными мероприятиями является весьма эффективным средством защиты фундаментов от замачивания. Такие экраны в определенных условиях значительно удлиняют путь инфильтрации воды в грунте по направлению к подошве фундаментов, в результате чего экранированные отмостки успешно



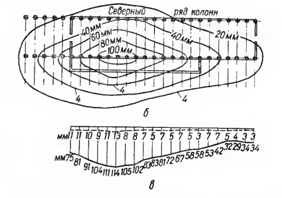




Рис. 5. Просадочные зоны у двух цехов, вызванные утечками воды из ливневой канализации:

*а* — план цеха малых агрегатов с нанесением линий равных осадок (*мм* в месяц); *б* — то же, цеха металлоконструкций; *в* — профиль осадки колонн южного ряда цеха металлоконструкций; *1* — контрольный колодец; *2* — отстойный бассейн с водоизоляцией; *3* — канализационный водовод; *4* — линии равных среднемесячных осадок.

выполняют свое назначение даже в тех случаях, когда обычного типа отмостки, имеющие в два раза большую ширину, пропускают воду под подошву фундаментов.

Этими же опытами установлено, что при проектировании водозащитных мероприятий необходимо учитывать конструктивные особенности фундаментов, так как часть отмостки $l_к$ от стены здания до обреза фундамента — это конструктивная часть, защищающая фундамент от интенсивной инфильтрации воды непосредственно над засыпанной частью фундамента, но не защищающая основание фундамента от горизонтального продвижения воды в грунте. Как видно из рис. 6, при наличии одинаковой скорости инфильтрации воды в грунте фундамент, имеющий отмостку, заканчивающуюся у обреза подошвы, равноценен фундаменту, не имеющему вовсе отмостки. И только вторая часть отмостки, находящаяся за пределами конструктивной

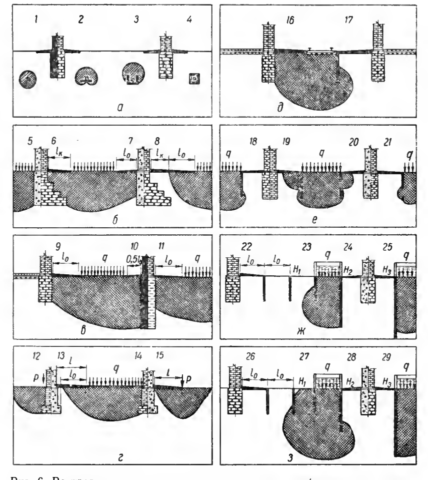
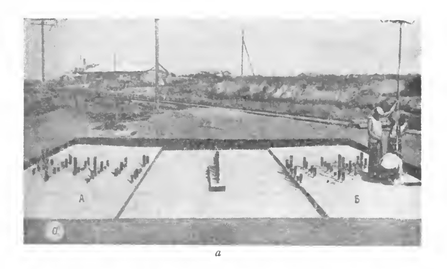


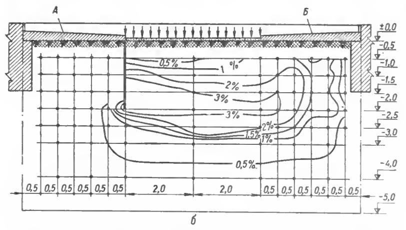

Рис. 6. Распределение влажности в лессовых грунтах (на грунтовых моделях) в зависимости от:

*а* — условий прокладки водоводов; *б* — конструктивных особенностей фундаментов; *в* — глубины заложения фундаментов; *г* — распределенных *q* и сосредоточенных *P* источников увлажнения; *д* — обычных и экранированных отмосток; *е* — характера повреждений экранов; *ж* и *з* — глубины и частоты экранов; *1—29* — номера исследований.

части, является полезной шириной $l_0$ для данного типа фундамента. Таким образом, общая расчетная ширина отмостки должна складываться из конструктивной части $l_к$ и полезной ширины $l_0$. К сожалению, при проектировании не всегда считаются с конструктивными особенностями фундаментов, а между тем это может существенно влиять на водозащитный эффект отмосток, снижая его при наличии больших выносов подошвы




*а*




*б*

Рис. 7. Экспериментальная проверка в натурных условиях распределения влажности в лессовых грунтах вокруг экранированных отмосток *А* и отмосток обычного типа *Б* через 33 суток после первого замачивания первым слоем воды в 200 *мм* и через 16 суток после замачивания вторым слоем воды также в 200 *мм:*

*а* — общий вид; *б* — разрез опытного участка.

фундаментов и повышая для фундаментов, не имеющих горизонтального развития в плане.

Существенную роль играет величина заложения подошвы фундамента, так как само увеличение глубины заложения фундаментов представляет собой своего рода водозащитное мероприятие, поскольку удлиняется путь инфильтрации воды до подошвы фундамента. Поэтому для более заглубленных фундаментов

**Таблица 1.** Значения коэффициентов фильтрации для разных водозащитных материалов, применяющихся при строительстве на просадочных лессовых грунтах

| Наименование и состав материала | Количество определений | Коэффициент фильтрации, *см/мин* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $K_{макс}$ | $K_{мин}$ | $K_{средн}$ |
| Лесс ненарушенной структуры | 155 | 0,0440000 | 0,0022600 | 0,0117000 |
| Лессовый суглинок ненарушенной структуры | 84 | 0,0345000 | 0,0008100 | 0,0046100 |
| Почвенный слой ненарушенной структуры | 189 | 0,0407000 | 0,0030800 | 0,0103000 |
| Лесс уплотненный | 350 | 0,0268000 | 0,0004200 | 0,0014000 |
| Лессовый суглинок уплотненный | 274 | 0,0069000 | 0,0001600 | 0,0008100 |
| Почвенный слой уплотненный | 96 | 0,0008000 | 0,0000130 | 0,0002900 |
| Лессобетон (лесс+10% кирпичного щебня) | 195 | 0,0144000 | 0,0006000 | 0,0012000 |
| Лессобетон (лессовидный суглинок+10% кирпичного щебня) | 339 | 0,0089200 | 0,0000020 | 0,0006000 |
| Глинобетон (глина+10% кирпичного щебня) | 942 | 0,0003100 | 0,0000020 | 0,0000050 |
| Глина уплотненная | 331 | 0,0000020 | 0,0000002 | 0,0000010 |
| Лесс+5% мазута | 48 | 0,0008500 | 0,0003400 | 0,0005500 |
| Лесс+10% » | 48 | 0,0006630 | 0,0002160 | 0,0003000 |
| Лесс+15% » | 152 | 0,0002500 | 0,0000120 | 0,0000700 |
| Лессовый суглинок+5% мазута | 200 | 0,0000780 | 0,0000250 | 0,0000500 |
| То же+10% мазута | 248 | 0,0000380 | 0,0000080 | 0,0000140 |
| » +15% » | 248 | 0,0000160 | 0,0000040 | 0,0000070 |
| Песок речной среднезернистый | 10 | 0,2970000 | 0,2150000 | 0,2450000 |
| Котельный шлак | 10 | 0,2560000 | 0,0640000 | 0,1560000 |
| Гранулированный шлак | 10 | 0,3200000 | 0,1170000 | 0,2580000 |
| Строительный мусор | 10 | 0,1890000 | 0,0650000 | 0,1250000 |

**Таблица 2.** Изменение значений коэффициентов фильтрации для одного из испытанных образцов уплотненного лесса в зависимости от времени действия фильтрации

| Время, *ч* | Коэффициент фильтрации, *см/мин* | Время, *ч* | Коэффициент фильтрации, *см/мин* | Время, *ч* | Коэффициент фильтрации, *см/мин* |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,00179 | 94 | 0,00118 | 200 | 0,00096 |
| 2 | 0,00155 | 96 | 0,00116 | 202 | 0,00095 |
| 4 | 0,00146 | 98 | 0,00114 | 204 | 0,00095 |
| 6 | 0,00142 | 112 | 0,00113 | 206 | 0,00095 |
| 8 | 0,00138 | 114 | 0,00113 | 208 | 0,00092 |
| 10 | 0,00137 | 116 | 0,00111 | 222 | 0,00090 |
| 24 | 0,00135 | 118 | 0,00111 | 224 | 0,00088 |
| 26 | 0,00135 | 120 | 0,00109 | 226 | 0,00086 |
| 28 | 0,00135 | 134 | 0,00108 | 228 | 0,00086 |

| Время, ч | Коэффициеит фильтрации, см/мин | Время, ч | Коэффициеит фильтрации, см/мин | Время, ч | Коэффициеит фильтрации, см/мин |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 0,00130 | 136 | 0,00106 | 230 | 0,00084 |
| 32 | 0,00130 | 138 | 0,00106 | 244 | 0,00084 |
| 46 | 0,00128 | 140 | 0,00105 | 246 | 0,00084 |
| 48 | 0,00126 | 142 | 0,00104 | 248 | 0,00084 |
| 50 | 0,00126 | 156 | 0,00104 | 250 | 0,00083 |
| 52 | 0,00123 | 158 | 0,00102 | 252 | 0,00083 |
| 54 | 0,00123 | 160 | 0,00102 | 266 | 0,00082 |
| 68 | 0,00122 | 162 | 0,00100 | 268 | 0,00082 |
| 70 | 0,00122 | 164 | 0,00100 | 270 | 0,00082 |
| 72 | 0,00122 | 178 | 0,00099 | 272 | 0,00082 |
| 74 | 0,00121 | 180 | 0,00099 | 274 | 0,00082 |
| 76 | 0,00120 | 182 | 0,00099 | 288 | 0,00081 |
| 90 | 0,00120 | 184 | 0,00098 | 290 | 0,00081 |
| 92 | 0,00118 | 186 | 0,00098 | | |

можно изготовлять отмостки меньших размеров по сравнению с фундаментами, имеющими неглубокое заложение. Из рис. 6 видно, что сосредоточенные источники увлажнения (неисправные водоводы, канавы, лотки водопроницаемой конструкции и др.) являются более опасными, чем равномерно распределенные (дождь и др.).

В практике строительства широко применялись и рекомендовались соответствующими нормативами отмостки из булыжного мощения. Проведенными автором исследованиями было установлено, что этот тип отмосток при его очень высокой стоимости (превышающей стоимость даже асфальтированных отмосток) является непригодным и даже опасным для сооружений, возводимых на просадочных грунтах. Под мощением находится прослойка песка, поэтому создается возможность свободного дренирования воды под этот тип отмосток и проникания через обычно рыхлую засыпку пазух в просадочные основания под фундаментами, вызывая неравномерные их осадки и часто существенные деформации сооружений. Применение мощеных отмосток должно быть категорически запрещено.

Помимо исследований на грунтовых моделях в лабораторных условиях, автором были исследованы различные типы конструктивных водозащитных мероприятий, выполненных в натуральную величину, в производственных условиях на строительной площадке Никопольстроя. Таким путем исследовались в натурных условиях: распределение влажности в лессовых грунтах вокруг фундаментов с различными водозащитными мерами; водозащитная эффективность экранов, изготовленных из рубероида, глины, глинобетона, лессобетона, утрамбованного лесса, бетонов низкой и высокой марок и различных битуминизированных лессов; фильтрационные свойства различных материалов,

которые могут служить для изготовления отмосток, экранов, лотков, тоннелей и других водозащитных конструкций. Для этого изготовлялись опытные конструкции в натуральную величину, причем за распространением влажности в грунте наблюдали при помощи специальных контрольных скважин с обсадными трубами, заложенными на разных глубинах (см. рис. 7). Во время опытов тщательно учитывали расход воды, ее температуру, испаряемость, температуру и влажность воздуха и грунта, атмосферные осадки и другие факторы. Экспериментальные работы в производственных условиях подтвердили результаты аналогичных исследований на грунтовых моделях в лабораторных условиях. Сводные результативные выводы по определению фильтрационных свойств разных материалов, применяемых при водозащитных мероприятиях на просадочных лессовых грунтах, см. в табл. 1 и 2. Эти материалы наиболее часто встречаются при земляных работах, в условиях лессовых просадочных грунтов. Приведенные значения коэффициентов фильтрации проверялись на 48—350 определениях для каждого исследуемого материала. Напорные градиенты также изменялись в широких пределах. С течением времени имело место снижение коэффициентов фильтрации за счет кольматации и некоторого разбухания глинистых частиц. В результате проведения экспериментальных работ выяснилось, что для каждого из испытанных материалов коэффициенты фильтрации могут иметь весьма значительные колебания для разных образцов.

Интересные исследования проведены и по изучению характера распределения степени уплотнения, снижения просадочности и изменений различных физических показателей просадочных лессовых грунтов вокруг забивных и грунтонабивных свай, размещаемых на расстояниях 2, 3, 4, и 5 диаметров $d$ одна от другой (исследования 1936—1937 гг.). Массовые определения свойств грунта на разных расстояних вокруг свай и в различных слоях грунта по его глубине показали, что достаточная степень уплотнения сваями достигается лишь на расстоянии $1{,}25d$ от ее оси, где средняя пористость грунта снижается с 48 до 40—42%. На расстояниях больших $1{,}25\,d$ пористость (а следовательно, и просадочность) резко повышается, достигая на расстоянии $2\,d$ от ее оси 47—48%, т. е. приближается к естественному состоянию грунта. Таким образом, оптимальное расстояние между осями свай автором было установлено в $2{,}5\,d$, но не более $3\,d$, что впоследствии было подтверждено другими исследователями. Сводные результаты этих исследований приведены на рис. 8.

Результаты наблюдений за осадками фундаментов различных зданий и сооружений (см. рис. 5), построенных на просадочных грунтах большой мощности, показали: при глубинных замачиваниях грунтов осадки происходят не под отдельными фундаментами, а по территориальным зонам аналогично просадочным

явлениям (см. рис. 1—4) независимо от величин принятого давления на грунт под отдельными фундаментами; осадкам подвергаются целые зоны, включающие как фундаменты, несущие

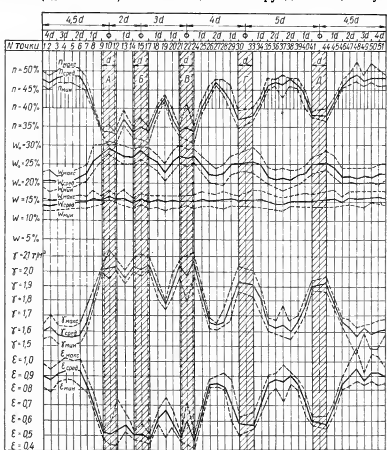



Рис. 8. Графики распределения физических показателей грунта вокруг свай *А, Б, В, Г, Д,* забитых в просадочные лессовые грунты на расстояниях **2*d*, 3*d*, 4*d*** и **5*d***;

*d* — диаметр свай; *n* — пористость, проц.; $W_0$ — объемная влажность, проц.; *W* — весовая влажность, проц.; γ — объемный вес, *т/м³*; ε — коэффициент пористости.

большие нагрузки и заглубленные до 6—8 *м*, так и фундаменты совсем незагруженные и мелко заложенные — от 0,5 до 2,0 *м* (установленные непосредственно в толще грунта контрольные реперы также имели аналогичные осадки). Максимальные осадки этих групп фундаментов в среднем составляли 10—12 *мм* в месяц, достигая в некоторых случаях 17—20 *мм*.

Как правило, максимальные зоны осадок находились преимущественно в районах наибольшего потребления производственной воды, в районах наличия магистралей, резервуаров и различных большей частью неисправных сопряжений подземного водного хозяйства, а также в местах, где долгое время не был упорядочен отвод атмосферных вод с крыш и окружающей территории. На рис. 5, *а* схематически показана часть цеха малых агрегатов с нанесенными схемами производственной и ливневой канализаций. На этом же плане построены линии равных среднемесячных осадок, ограничивающие зоны с примерно равными осадками фундаментов, колонн и оборудования. Как видно из рисунка, примерные размеры зоны с осадками, превышающими 15 *мм* в месяц, достигали 60×85 *м* в плане, зона с осадками 10—15 *мм* имела размеры 80×140 *м* и зона с осадками 5—10 *мм* — 110×185 *м*; общий характер осадок был совершенно аналогичен характеру осадок поверхности грунта при типичных просадочных явлениях, и процесс осадок развивался аналогично оседанию дневной поверхности грунта при просадочных явлениях. Таким образом и эти данные подтвердили вывод автора, впервые опубликованный в 1936—1938 гг., о том, что наибольшую опасность для возводимых сооружений представляют более глубокие слои просадочных грунтов, называемые в настоящее время грунтами второго типа просадочности.

На рис. 5, *б* изображена характерная просадочная зона в районе цеха металлоконструкций и нанесены линии равных осадок за двухлетний период наблюдений. Здесь же показан профиль осадок колонн южного ряда как за все время наблюдений, так и за период 72 суток. Эти данные наглядно показали, что осадки фундаментов сооружений на Никопольстрое строго подчинялись законам территориальных просадок, совершенно аналогичных просадочным явлениям в лессовых грунтах.

Появление длительных по времени и значительных по величине групповых осадок фундаментов на Никопольстрое вызывалось действием просадок нижних слоев лесса. Эти групповые осадки развивались так же, как и типичные просадочные явления, в отличие от бурно проходящих и быстро затухающих осадок отдельных фундаментов, обычно вызываемых местными увлажнениями лессовых оснований в пределах напряженной зоны этих фундаментов.

Было установлено, что просадки лессовых грунтов не обязательно происходят в зоне сплошного насыщения водой, а могут проявиться и в зонах капиллярного и даже пленочного насыщения при соответствующих внешних нагрузках (включая и собственный вес грунта и воды), мощности просадочного слоя, физических показателях просадочного грунта и генетических условиях его образования. Это подтвердили данные наблюдений за осадками и влажностью грунта у фундаментов станов и колонн

цехов, где имели место длительное время продолжающиеся просадки.

В то время основной причиной появления просадок лессовых грунтов считалась теория макропористости, т. е. оплывания крупных пор при замачивании. Еще и до настоящего времени имеются сторонники этой теории и термина макропористости. Однако исследования автора не подтвердили этого. В выступлениях автора на 2-м Всесоюзном совещании по строительству на макропористых лессовых грунтах (1938 г.), а также в последующих публикациях учитывалось, что не только макропоры, но и главным образом микропоры рыхлого сложения лессовых пород при их избыточной пористости и недостаточной связности являются основной причиной просадок. В последующие годы было опубликовано ряд работ советских ученых и, в первую очередь, проф. Н. Я. Денисова, в которых была внесена обоснованная ясность по этим вопросам и в настоящее время уже установлено общее направление взглядов на сущность просадочных явлений, вызываемых в результате воздействия комплекса и ряда дополнительных факторов (проф. А. К. Ларионов и др.), зависящих от местных условий не только одного района, но и каждой строительной площадки.

### Определение строительных и просадочных свойств грунтов

При изыскании путей снижения стоимости и ускорения темпов строительства обычно стремятся рационализировать и удешевить объемно-планировочные и конструктивные решения при проектировании и максимально индустриализировать и механизировать все процессы при возведении зданий и сооружений. В то же время в максимальном использовании несущей способности грунтов, на которых возводятся эти объекты, таятся еще большие возможности для снижения как сроков, так и стоимости строительства. Поэтому полноценные определения строительных свойств грунтов имеют большое значение для народного хозяйства СССР, так как недооценка несущей способности грунтов вызывает излишние перерасходы материальных и трудовых ресурсов, а переоценка ведет к авариям или повреждениям сооружений.

В общем комплексе этих исследований наиболее важным и ценным является правильное определение физико-механических характеристик грунтов ненарушенной структуры и природной влажности, так как от степени точности этих характеристик зависит и точность различных производных от них расчетных показателей (коэффициентов пористости, степени плотности, степени влажности и др.). Остальные свойства грунтов (просадочные, фильтрационные, компрессионные и др.) также должны определяться на монолитах грунта природной структуры и влажности.

Даже незначительные нарушения структуры и влажности исследуемых образцов придают им совершенно другие физические показатели, коренным образом изменяя их свойства. В то же время многие распространенные методики и приборы, предназначенные для этой цели, обладают существенными недостатками, так как не дают возможности производить все необходимые для строительства исследования непосредственно в природных полевых условиях, а в основном рассчитаны на работу в стационарных лабораториях, часто значительно удаленных от исследуемых площадок. Обычно испытывают образцы грунта, пересылаемые за сотни километров от мест их залегания. В таких условиях часто практически невозможно обеспечить полное сохранение ненарушенной природной структуры и влажности исследуемых образцов при их отборе и транспортировке, поэтому и результаты таких исследований не всегда соответствуют естественному природному состоянию исследуемых грунтов, что приводит к неправильным выводам о их несущей способности.

Наиболее распространенные грунтоносы, предназначенные для отбора монолитов из скважин, в значительной мере нарушают (уплотняют) отбираемые ими образцы. При детальном изучении образцов грунта, отобранных грунтоносами, можно наблюдать значительные нарушения этих образцов, проявляющиеся в виде многочисленных, иногда трудно заметных невооруженным глазом горизонтальных расслоений. Плоскости расслоения имеют слабо выраженную сферическую форму с выпуклой поверхностью в центре образца и с более резким понижением по периметру грунтоноса, что свидетельствует о нарушении структуры этих образцов. Поэтому, кроме разведочного бурения, необходимо также и шурфование, при котором отбирают контрольные образцы в виде монолитов, тщательно герметически упаковывают и пересылают в стационарные лаборатории.

Для каждой исследуемой строительной площадки требуется большое количество контрольных монолитов, иначе нельзя провести полноценных исследований грунтов. Обычно применяемая методика отбора монолитов пригодна лишь в ограниченных пределах только для относительно плотных структурных грунтов и малопригодна для несвязных, слабосвязных и насыщенных водой грунтов, так как практически очень трудно, а иногда почти невозможно отобрать и переслать их в стационарные лаборатории без нарушения природной влажности и структуры. Даже для плотных структурных грунтов нередки случаи, когда отбираемые монолиты незаметно нарушаются или скалываются в процессе их отбора, что выясняется лишь впоследствии, после доставки таких образцов в лабораторию.

Кроме того, в полевых условиях затруднительно герметически упаковывать отобранные монолиты. Наружное парафинирование грунта не всегда предохраняет отобранные образцы от некоторой

потери влажности. Существенным недостатком обычной методики отбора монолитов является их значительный вес, так как каждый монолит в упаковке весит 5—35 *кг*. В процессе транспортирования монолитов дополнительно нарушается их структура от ударов и сотрясений, и часто в лаборатории поступают поврежденные образцы грунта, не соответствующие природным условиям их залегания. Поэтому значительная часть результатов последующих лабораторных определений, при которых также дополнительно вносятся существенные искажения, не соответствует действительным физическим характеристикам исследуемого грунта в его естественном состоянии.

Часто происходит дополнительное (вторичное) нарушение доставляемых в стационарные лаборатории монолитов грунта, когда лаборант должен вручную вырезать из него меньшие монолиты для определения объемного веса или для помещения их в компрессионные гильзы. При этом все зависит от субъективных навыков лаборанта.

Ограниченное количество доставляемых в стационарные лаборатории образцов грунта с действительно ненарушенной структурой и природной влажностью не позволяет производить необходимые контрольные испытания. Кроме того, стационарные лаборатории, вследствие своей значительной оторванности от мест непосредственного отбора образцов грунта, обычно вынуждены применять при различных испытаниях воду, которая имеет совершенно другой состав растворенных в ней солей, чем грунтовая, что часто вызывает внутри исследуемых образцов гидролиз, коагуляцию и прочие химико-физические процессы, изменяющие механические свойства грунтового скелета. Поэтому выводы о строительных свойствах грунтов получаются неполноценными, что приводит либо к нерационально завышенным объемам строительных работ, а следовательно, к значительному удорожанию строительства, либо вызывает последующие повреждения и аварии сооружений вследствие неравномерных осадок их фундаментов.

Таким образом, вопросы полноценных исследований строительных свойств грунтов имеют большое практическое значение.

На касаясь заслуживающих внимания многих методов и приборов, успешно применяемых в СССР, в книге кратко описаны лишь предложенные и разработанные автором методики исследований и приборы, серийно выпускаемые отечественной промышленностью и успешно применяемые в СССР и за рубежом.

Предложенные и разработанные автором в бывш. ЮжНИИ приборы последних типов полевых лабораторий ПЛЛ-9, П9-С, П10-С для ускоренных испытаний строительных свойств грунтов непосредственно в природных условиях * представляют собой

* Полевые лаборатории И. М. Литвинова типа 9 (ПЛЛ-9) и типа 10 (П10-С), авторские свидетельства на изобретения № 93327, 93328, 97158.

портативные и удобные в работе комплекты приборов, обслуживаемые и легко транспортируемые одним человеком, заменяющие сложное и громоздкое оборудование стационарных грунтовых лабораторий.

Установлению размеров отбираемых и испытываемых этими приборами образцов грунта предшествовали предварительные исследования, проводившиеся автором параллельно на образцах разных размеров. В частности, параллельно испытывались образцы (рис. 9) размерами: $F=200$ *см*$^2$ и $V=1000$ *см*$^3$, $F=100$ *см*$^2$ и $V=250$ *см*$^3$, $F=50$ *см*$^2$ и $V=100$ *см*$^3$, $F=25$ *см*$^2$ и $V=50$ *см*$^3$, $F=10$ *см*$^2$ и $V=20$ *см*$^3$, в результате чего были приняты оптимальные параметры приборов.

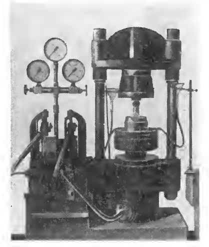


Рис. 9. Выбор оптимальных размеров образцов грунта для приборов ПЛЛ-9; П9-С; П10-С и др. (испытывается образец $F=200$ *см*$^2$, $V=1000$ *см*$^3$).

Применение этих приборов дает возможность точно определять физико-механические характеристики исследуемых грунтов и более полноценно производить исследования. При этом выводы делаются не по ограниченному количеству образцов, а на основе массовых параллельных испытаний монолитов грунта в природных условиях. Достигаемая при этом быстрота отбора проб с действительно ненарушенной структурой и ускоренное определение их основных физических показателей дают значительную экономию во времени при проведении разведочных работ (в 15—20 раз быстрее, чем по другим методам и приспособлениям), что существенно снижает стоимость исследовательских работ и ускоряет их темпы.

Полевые лаборатории размещаются в двух небольших футлярах общим весом 8 и 12 *кг* (рис. 10), укомплектованных сушильным шкафом весом 1,5 *кг* и прибором для полевых испытаний грунтов на сдвиг весом 6 *кг*. Они имеют в своем составе специально сконструированные приборы и приспособления, позволяющие определять как непосредственно на месте исследуемого участка, так и в лабораторных условиях все требуемые нормами строительные свойства грунтов, в частности:

отбирать монолиты грунтов ненарушенной структуры и природной влажности из шурфов и выработок для определения основных физических свойств грунтов и для испытания их на прочность, фильтрацию, компрессионные свойства, сдвиг и др.;

определять объемный вес грунта в состоянии природной влажности и грунтового скелета, влажность весовую и объемную, степень влажности, максимальную молекулярную влагоемкость, пористость, степень плотности, коэффициенты пористости, уплотнения и фильтрации при разных нагрузках, пластичность связ-

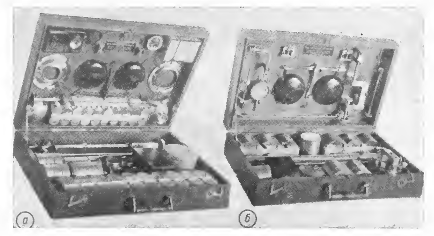


Рис. 10. Основная (*а*) и компрессионная (*б*) части приборов полевой лаборатории ПЛЛ-9.

ных грунтов, консистенцию, гранулометрический состав и углы естественного откоса песчаных грунтов (в сухом состоянии и под водой), набухание при разных давлениях, относительные модули сжатия, структурную связность и сцепление на срез пластичных глинистых и илистых грунтов и др.;

производить компрессионные испытания (рис. 11) по обычной или ускоренной методике либо в условиях всестороннего сжатия с помощью дополнительного прибора (рис. 12);

определять просадочные свойства лессовидных грунтов, устанавливая коэффициенты просадочности и величины возможных просадок;

производить полевые испытания грунтов на сдвиг посредством специального прибора П9-С (рис. 13, 14) с определением коэффициентов и углов внутреннего трения и сцепления;

устанавливать нормативные давления на грунт в соответствии с требованиями СНиП II-Б.1—62 и других нормативных данных и технических условий;

рассчитывать возможные осадки фундаментов разных зданий и сооружений.

Этими приборами можно также успешно обеспечивать надлежащий оперативный контроль за качеством производства разных земляных работ (при возведении грунтовых плотин, дамб, насы-

пей, каналов, засыпок и других сооружений, выполняемых с применением грунта).

Необходимое при исследованиях высушивание образцов грунта производится при помощи специального телескопически раздвижного полевого сушильного шкафа весьма малого веса (1,5 *кг*) и удобных для транспортировки габаритов (высота шкафа в сложенном виде 7 *см*). Этот шкаф позволяет в полевых условиях одновременно высушивать до 50 образцов грунта *. Шкаф имеет автоматическую регулировку температуры и может работать при разных напряжениях в сети.

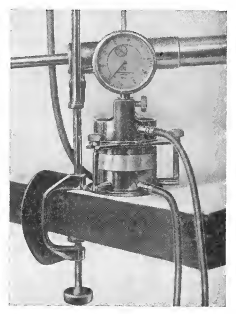


Рис. 11. Компрессионная часть прибора ПЛЛ-9 для полевых и лабораторных испытаний в работе (объем испытываемого образца 50 *см*$^3$).

Высокая точность работы прибора для отбора монолитов грунта достигается как за счет его конструктивных особенностей (формы грунтоотборной гильзы, наличия направляющих, применения плавно действующего рычажного приспособления для задавливания в грунт и др.), так и за счет того, что определение объемного веса и первоначальное взвешивание для определения естественной влажности грунта производят непосредственно на месте отбора проб, а не после ряда промежуточных операций, необходимых при обычных методах, вредно влияющих на изменение естественного состояния отобранных проб грунта и тем самым вносящих ряд дополнительных ошибок.

Компрессионные, фильтрационные и просадочные свойства, относительные модули сжатия, пластичности и консистенции связных грунтов, гранулометрический состав и плотность сыпучих грунтов, различные влажностные и другие показатели определяют на специально приспособленных для работы в полевых условиях приборах, имеющихся в составе полевой лаборатории, по методике, разработанной автором и изложенной в руководствах по применению этих приборов.

Применяемые для испытаний на сдвиг одно- и многосрезные приборы, состоящие из металлических гильз, разрезанных на

* Авторское свидетельство на изобретение № 93328.

две или три части и перемещающихся (скользящих) одна по другой, обладают существенными недостатками и поэтому не могут давать полноценных сдвиговых характеристик грунта.

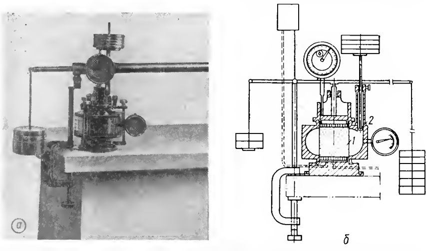



Рис. 12. Стабилометр ПЛЛ-9 для полевых лабораторных испытаний грунтов в условиях всестороннего сжатия (объем испытываемого образца 50 $см^3$):
*а* — общий вид прибора; *б* — схема прибора; *1* — испытываемый грунт; *2* — плавающий поршень.

В таких приборах для устранения вредного влияния трения между металлическими частями прибора и плоскостями среза обычно предусматривают устройство разных по величине временных или постоянных зазоров. Эти зазоры устраивают либо непосредственно перед приложением сдвигающего усилия или делают постоянными для некоторых упрощенных более грубых конструкций приборов. В некоторых случаях не обращают внимания на влияние трения между гильзами, что недопустимо.

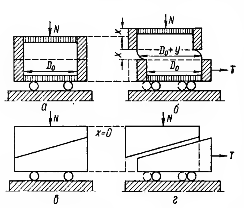
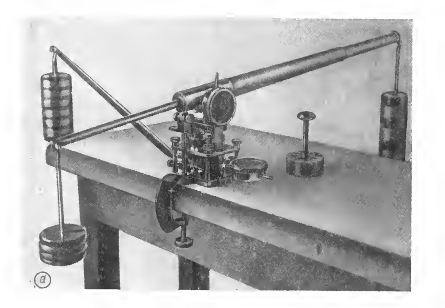



Рис. 13. Принципиальные схемы, характеризующие недостатки и достоинства разных типов срезных приборов:
*а*, *б* — недостатки общепринятых; *в*, *г* — преимущества предложенных автором.

Исследования автора показывают, что влияние зазора, устраиваемого до приложения сдвигающего усилия, отрицательно оказывается на проведении испытания, а также и на получаемых результатах. При испытании



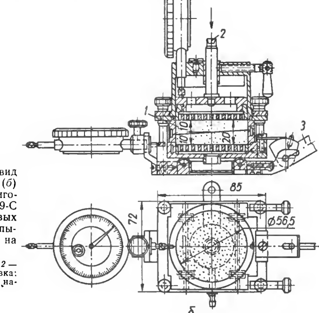



Рис. 14. Общий вид (*а*), план и разрез (*б*) односрезного сдвигового прибора П9-С (П10-С) для полевых и лабораторных испытаний грунтов на сдвиг:

*1* — образец грунта; *2* — вертикальная нагрузка; *3* — горизонтальная нагрузка.

сыпучих грунтов возможно попадание в такие зазоры отдельных песчинок, что при сохранении на относительно длительное время опыта постоянной величины зазора часто приводит к заклиниванию частиц грунта; в связных предварительно замоченных водой грунтах обычно происходит некоторое выдавливание грунта в зазоры, что увеличивает расчетную площадь сдвига в образце и существенно искажает результаты испытаний.

Для более полноценных испытаний грунтов на сдвиг в полевых и стационарных условиях автором был предложен, разработан и включен в состав полевой лаборатории ПЛЛ-9 прибор П9-С и П10-С *, предназначенный для работы совместно с другими приборами полевой лаборатории (рис. 14), в котором полностью отсутствуют указанные выше недостатки.

Разработанный прибор запроектирован по схеме односрезных приборов, однако отличается от них тем, что плоскость, отделяющая неподвижную часть гильзы с грунтом от подвижной, по которой при испытании осуществляется срез исследуемого образца грунта, выполняется не параллельно линии перемещения подвижной части, как это имеет место во всех существующих приборах, а под небольшим углом $\alpha$, величина которого принимается в пределах от десятых долей градуса до нескольких градусов. В этом случае при горизонтальном перемещении подвижной части прибора автоматически появляется зазор, увеличивающийся все время в процессе опыта. Этим полностью устраняется трение металлических частей одна о другую, сильно искажающее в других приборах получаемые значения сопротивления грунта, и одновременно устраняются возможность заклинивания песчаных частиц и выдавливание мокрых связных грунтов в зазоры, что существенно повышает точность исследований.

Принцип, заложенный в основу этого прибора, получил широкое признание и начал применяться в других конструкциях сдвиговых приборов (приборы Джолоса и др.).

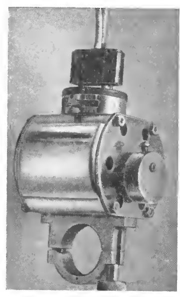
В числе разработанных автором приборов также заслуживает внимания портативный и удобный в работе прибор для компрессионных испытаний монолитов грунтов в условиях всестороннего (трехосного) сжатия, позволяющий производить испытания не только в лабораторных, но и непосредственно в полевых производственных условиях несложным путем и с высокой точностью (см. рис. 12).

В дополнение к полевой лаборатории ПЛЛ-9 разработан второй вариант прибора для ускоренного контроля качества уплотнения грунта при производстве земляных работ. Этот прибор всесторонне проверен в лабораторных и производственных условиях и может успешно применяться для гидротехнического, дорожного и других видов строительства. С помощью прибора

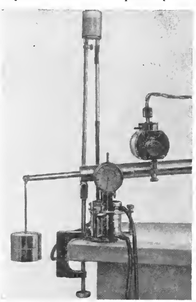
---

* Авторское свидетельство иа изобретение № 97158.

можно простым путем в короткие сроки и с высокой точностью определять объемный вес скелета, влажность, пористость и другие физические показатели грунта без предварительного высушивания отобранных образцов. Кроме того, прибор дает возможность в полевых условиях определять удельный вес твердой фазы



Рнс. 15. Динамическая приставка ПЛЛ-9 для динамических компрессиониых, сдвиговых и другнх исследований (прн разных амплитудах и частотах колебаний).



Рнс. 16. Дниамическая приставка ПЛЛ-9 в процессе динамических компрессионных испытанний.

грунта с весьма высокой точностью, не уступающей наиболее точным исследованиям в стационарных лабораториях. Принцип работы этого прибора основан на гидростатическом взвешивании в воде исследуемых проб грунта. Прибор с футляром весит 2,2 *кг*.

В числе новых приборов для исследования грунтов в полевых условиях автором предложена и разработана вибрационная установка, предназначенная для динамических испытаний грунтов при определении их компрессионных свойств, сопротивления сдвигу и плотности. Основной частью установки является разночастотный вибратор (рис. 15, 16), укрепляемый на загрузочном рычаге компрессионного или сдвигового прибора. Вибратор через загрузочный рычаг передает на образец грунта, подвергающийся действию заданной нагрузки, различные легко регулируемые по направлению, частоте и величине амплитуды колебания.

Такие вибрационные установки — приставки к компрессионным и сдвиговым приборам позволяют производить разнообразные динамические исследования грунтов в процессе их компрессионных и сдвиговых испытаний.

За высокие показатели (точность в работе, простоту в обращении и портативность) эти приборы были награждены в 1961 г. дипломом I степени ВДНХ СССР и Большой Золотой медалью.

К сожалению, количество выпускаемых приборов ПЛЛ-9 и П10-С не удовлетворяет потребность в них. В то же время практика применения этих приборов показала, что они позволяют одновременно со снижением стоимости изыскательских работ по определению строительных свойств грунтов значительно снижать и стоимость строительных работ за счет более полноценного использования несущей способности грунтов.

## Особенности индустриального строительства на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях Украинской ССР

Огромные масштабы капитального строительства в Украинской республике вызвали быстрое развитие и техническое совершенствование строительной промышленности путем ее последовательной индустриализации и перехода на новые методы строительства путем возведения полносборных зданий и сооружений по принципиально новым типовым проектам из крупноразмерных и объемных конструкций промышленного производства. Если до 1955—1956 гг. такие полносборные крупнопанельные дома возводились лишь в порядке эксперимента, то с 1957 г. этот новый вид строительства начал быстрыми темпами развиваться и в настоящее время уже является основным, так как наличие мощной базы индустриального крупнопанельного домостроения на Украине уже обеспечивает возможность массового строительства крупнопанельных жилых зданий индустриальными методами. Большое количество крупнопанельных зданий на территории Украины возводится в очень сложных грунтовых условиях — на просадочных грунтах, обладающих способностью при замачивании давать большие неравномерные осадки, и на подрабатываемых территориях, также вызывающих значительные неравномерные осадки.

В условиях возможного воздействия на крупнопанельные здания огромных неравномерных осадок (достигают 1500 *мм* при одновременных значительных горизонтальных смещениях грунта в основании зданий, достигающих 10 *мм* и более на протяжении 1 *м* длины или ширины здания) проектирование и возведение таких зданий весьма усложняются. По плану развития народного

хозяйства СССР примерно 70% всего строительства Донбасса располагается на угленосных площадях с последующей подработкой. Еще больше крупнопанельных домов возводится на просадочных грунтах республики. Для условий с относительно хорошими в строительном отношении грунтами в республике остается не более 30% общего объема индустриального крупнопанельного домостроения. Поэтому одной из главных задач строительной науки является быстрое и полноценное разрешение основных теоретических и практических вопросов, связанных с проектированием, возведением, а также длительной и надежной эксплуатацией крупнопанельных домов различных конструктивных решений с разными защитными конструктивными мероприятиями и способами закрепления, уплотнения или приспособляемости подстилающих их грунтовых оснований.

Проведенные в СССР исследовательские работы по изучению просадочных лессовых грунтов и опубликованные теоретически обоснованные рекомендации на их основе позволяют определять возможные величины просадок грунта.

В то же время исследования исходных параметров процессов сдвига земной поверхности при горных выработках еще не дают возможности с достаточной точностью определять эти величины. В частности, на основании проведенных натурных наблюдений по проверке известных расчетных предпосылок в Институте горного дела Академии наук УССР установлено, что существующие методы расчета деформаций земной поверхности, являющиеся в основном эмпирическими, обладают средней погрешностью при определении главных расчетных параметров — радиусов кривизны и горизонтальных деформаций — в пределах ±60—70%. Для формул, приведенных в ВТУ-01—58, величина погрешности достигает для радиуса кривизны ±144, а для горизонтальных деформаций ±100%.

Последние исследования ВНИМИ и его украинского филиала позволили увеличить степень точности расчетных предпосылок, снизив среднюю величину погрешности до ±50%, но при этом не учитывается возможность появления максимально возможной ошибки, достигающей ±100%. В работах Института горного дела Академии наук УССР также отмечается, что при ошибке ±50% в одном случае здание вообще нельзя строить над горными выработками или надо разделять его на отсеки длиной по 10 *м* и максимально насыщать арматурой, что явно нецелесообразно, а в другом случае при тех же условиях подработки здание можно строить с отсеками 20 *м* без всякого усиления стен и фундаментов арматурой. Отличие одного решения от другого настолько велико, что носит принципиальный характер. Из результатов проверки натурных наблюдений за известными расчетными предпосылками следует важный вывод: точность расчета деформаций земной поверхности ±50% находится на пределе, и даль-

нейшие попытки уточнения расчетов по данным измерений ни к чему не приведут. Не случайно ни один из многочисленных методов расчета не дает погрешности для кривизны и горизонтальных деформаций ниже ±50%. На основе накопленного опыта подработок сооружений Институт горного дела АН УССР установил, что за счет погрешности порядка ±50% в имеющихся уточненных расчетных формулах можно при одних и тех же расчетных параметрах ошибиться на несколько категорий охраны.

Из приведенных данных видно, что для надежной защиты сооружений от вредного влияния горных выработок нельзя руководствоваться только опубликованными расчетными параметрами. Необходимо глубоко изучать наиболее характерные деформации и повреждения зданий, возникающие при натурных испытаниях экспериментальных крупнопанельных домов, а также обобщать опыт массового строительства. На основе этих данных следует разработать более приближающуюся к действительности теорию расчета таких зданий.

Еще несколько лет назад не было теоретически обоснованных четких установок для строительства крупнопанельных зданий на подрабатываемых территориях, а также на просадочных грунтах, вызывающих значительные неравномерные осадки зданий, превышающие 1000 *мм*. Конструктивные решения, принимаемые в типовых проектах различных проектных организаций, по существу базировались на эмпирических гипотезах, не проверенных опытом, и не обеспечивали достаточной экономичности или долговечности возводимых зданий и сооружений.

Поэтому необходимо было в короткие сроки изучить многие сложные и неясные вопросы. Это могло быть значительно ускорено путем экспериментальной проверки различных конструктивных вариантов крупнопанельных жилых домов натурным искусственным замачиванием подстилающих просадочных грунтов или подработками угольных пластов.

В 1961—1963 гг. под научным руководством автора институтами ЮжНИИ и ДонНИИ при участии НИИ оснований и ряда проектных и строительных организаций Госстроя УССР была проведена натурная экспериментальная проверка крупнопанельных домов разных типовых серий в различных конструктивных вариантах, построенных на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях в разных районах Украинской ССР.

В первую очередь были испытаны намеченные для массового строительства различные варианты проектов домов серий 1-464 и 1-480 для того, чтобы в дальнейшем разработать надежные конструктивные мероприятия, обеспечивающие прочность и устойчивость этих зданий.

Кроме того, НИИ оснований были проведены натурные испытания крупнопанельного дома в Херсоне, построенного по гибкой

схеме, и экспериментальных крупнопанельных домов, построенных на предварительно замоченных просадочных грунтах.

Для всех указанных выше исследований специально строились опытные 5-этажные крупнопанельные дома, которые в процессе экспериментов доводились до значительных аварийных

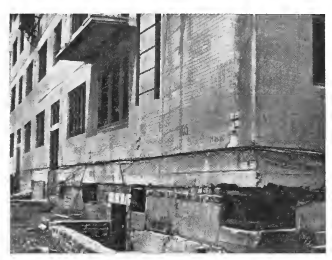


Рис. 17. Натурные исследования экспериментального крупнопанельного дома над горными выработками.

деформаций. В частности, такие опытные 5-этажные дома в целях эксперимента отрезали от нижней части фундаментов и затем при помощи 100-тонных домкратов (рис. 17) изгибали по заранее заданным расчетным кривым, соответствующим разным радиусам искривления дневной поверхности. Затем под этими и другими опытными домами вырабатывали уголь, что вызывало естественные просадки грунта на величину до 1000 *мм*. Под такими же опытными 5-этажными домами, запроектированными по жесткой схеме, специально возводимыми на просадочных грунтах Украинской ССР для испытаний, искусственно замачивали подстилающие просадочные лессовые грунты и доводили неравномерные осадки фундаментов до 1500 *мм* (рис. 18).

В процессе испытаний замеряли деформации зданий, а также напряжения во всех основных конструктивных элементах и арматуре. Для этого под зданиями и вокруг них, а также в различных конструктивных элементах были установлены измерительная аппаратура, марки, реперы и контрольные знаки. У каждой испытываемой секции домов были построены специальные контрольно-измерительные пункты дистанционных наблюдений с соответствующими пультами управления, оборудованными

автоматическими тензоустановками АИ-1 с коммутаторами на 100 точек каждый. Для наблюдений за деформациями грунта были установлены глубинные марки на глубинах 1—16 *м* и большое количество поверхностных марок. Напряжения замерялись круглосуточно через каждые 2 *ч*. В расчетах деформаций и напряжений в арматуре учитывалась температура воздуха (рис. 19), а за распространением влажности в грунте наблюдали при помощи специальных контрольных скважин (рис. 20).

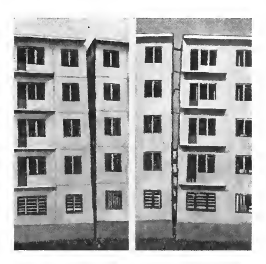


Рис. 18. Раскрытие деформациоиных швов иа 650—850 *мм* в экспериментальных крупиопаиельиых домах в результате иеравномерных осадок торцовых фуидаметов при замачиваиии под ними просадочиых лессовых груитов.

Такие экспериментально-исследовательские работы под научным руководством автора в натурных производственных условиях дали возможность в более короткие сроки и более сознательно создать для строителей рекомендации, расширяющие область применения крупнопанельного домостроения в сложных грунтовых условиях с одновременным повышением его качества и долговечности.

Первые результаты незаконченных натурных испытаний экспериментальных домов позволили скорректировать ориентировочные расчетные предпосылки для строительства крупнопанельных домов в сложных грунтовых условиях Украинской ССР, значительно улучшить конструктивные схемы типовых проектов и предложить более обоснованные рекомендации по развитию в УССР крупнопанельного домостроения на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях.

Под научным руководством автора в 1962—1964 гг. были также проведены экспериментально-исследовательские работы по выправлению кренов домов, полученных в результате испытаний. Для выравнивания неравномерных осадок было применено глубинное замачивание грунтов основания всех выправляемых секций через дренажные скважины глубиной до 7 *м* и диаметром 500 *мм*, пробуренные в сухих грунтах снаружи здания вдоль главного и дворового фасадов и в районах осадочных швов (рис. 21). При дополнительном, но строго регулируемом

замачивании грунтов в основании дома произошли дополнительные осадки фундаментов секций, что привело к выравниванию осадок. Осадочные швы между секциями, раскрывавшиеся при испытаниях до 850 *мм*, после выправления дома практически за-

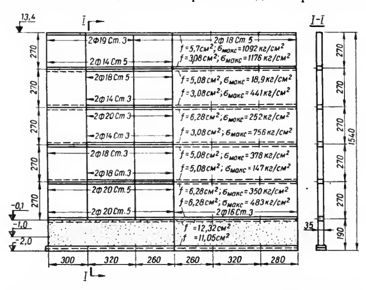



Рис. 19. Максимальные напряжения $\sigma_{макс}$ в арматуре поясов панелей площадью $f$ секции № 1 экспериментального дома № 33, определенные в процессе испытаний.

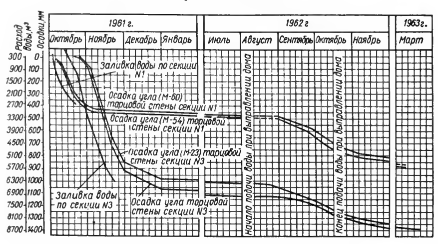



Рис. 20. Сводный график осадок секций № 1 и 3 экспериментального дома № 33 в Запорожье при его испытании и выправлении дополнительным (регулируемым) замачиванием.

крылись до проектного состояния, после чего были проведены отделочные работы и дома были заселены.

Проведенные опыты по выравниванию крупнопанельных домов двух типовых серий дополнительным замачиванием после имевшихся значительных перекосов этих зданий, вызванных неравно-

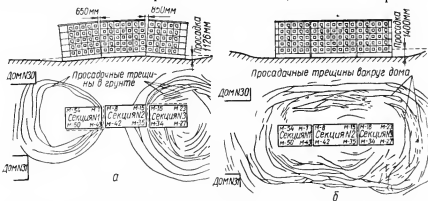



Рис. 21. Экспериментальный дом № 33 в Запорожье с просадочными трещинами в груите:

*а* — после испытания опытным замачиванием просадочных грунтов под крайними торцовыми фундаментами; *б* — после выправления дома дополнительным замачиванием под центральной частью.

мерными осадками, превышающими 1400 *мм*, дали положительные результаты и показали, что процессы регулируемого замачивания и происходящие при этом просадки грунта и осадки здания с выправлением их крена являются в значительной мере управляемыми и могут заранее прогнозироваться. Степень сходимости фактических и прогнозируемых данных определяется состоянием изученности свойств просадочной толщи грунтов, характером их залегания, положением водоупорных слоев, расположением и размерами дренажных скважин и другими факторами. При этом следует иметь в виду, что только достаточная конструктивная жесткость секций позволила безопасно перенести значительные неравномерные деформации здания при его испытании и выправлении.

Результаты проведенных испытаний наглядно показали, что при строительстве на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах особое значение имеют конструктивные мероприятия. Так, например, несмотря на очень большие неравномерные осадки фундаментов экспериментального 5-этажного крупнопанельного дома № 33 в Запорожье (превышающие 1400 *мм*), вызвавшие раскрытие двух деформационных швов между секциями (отсеками) здания до 1,5 *м*, секции здания, представлявшие собою жесткие объемные элементы (в них были предусмот-

рены конструктивные мероприятия), не получили заметных повреждений и трещин. Напряжения в арматуре поясов и панелей по данным замеров не превышали расчетных. Конструкции этого экспериментального дома, возведенного по проекту 1-480-3П, при неравномерных осадках жестких фундаментов с торцовых сторон секций более 1100 *мм* в пределах одной секции длиной 17 *м*, с раскрытием одного осадочного шва до 850 *мм*, а другого — до 650 выдержали эти испытания без деформаций в панелях и в местах их сопряжений.

Аналогичные крупнопанельные дома, в которых не учитывались конструктивные мероприятия, при неравномерных осадках фундаментов получали значительные деформации. В зданиях с недостаточной конструктивной жесткостью в стыках между секциями от сжатия секций между собой при закрытии деформационных швов происходили большие деформации и разрушения панелей, их швов сопряжения и других несущих железобетонных элементов даже при относительно небольших осадках порядка 35—150 *мм*.

Испытания показали, что двухслойное поверхностное уплотнение грунтов оснований тяжелыми трамбовками не достигало своей цели, а также что жесткостные показатели и сопротивляемость поперечным усилиям фундаментов и здания в целом испытанного дома первой типовой серии 1-464-П (с поперечными несущими стенами) значительно меньше аналогичных показателей для домов типовой серии 1-480-П (с продольными несущими стенами). В некоторых конструктивных элементах испытанных домов серии 1-464-П возникали деформации, превышающие нормативные, не обеспечивающие необходимой прочности и долговечности здания. Таким образом, были сделаны выводы, что если строительство крупнопанельных зданий по проектам серии 1-480-П не вызывало опасений, то строительство зданий по проектам серии 1-464-П в условиях просадочных грунтов II типа могло допускаться лишь по чертежам с улучшенными конструктивными решениями, которые были затем разработаны с учетом: повышения несущей способности и жесткости сборных фундаментов с обеспечением надежного их омоноличивания; применения сборно-монолитной конструкции сопряжения сборных панелей стен (продольных и поперечных) взамен предусмотренных в проекте сопряжений на сварке закладных частей; замены податливых петлевых сопряжений между панелями перекрытий на более жесткие путем непосредственного соединения выпусков стержней с помощью накладок или применения сборно-монолитной конструкции сопряжений этих панелей.

Чтобы здание при неравномерных осадках, и особенно при наклонах, не разрушалось, следует обеспечивать достаточную конструктивную жесткость каждой его секции. Такую надежную расчетную жесткость наземной части секций крупнопанельных

домов можно осуществлять при относительно небольших затратах. Усиление же всей толщи просадочных грунтов при значительной мощности их залегания часто требует больших и не всегда рациональных дополнительных затрат.

Хотя мы и располагаем достаточно обширным арсеналом различных мероприятий для строительства крупнопанельных домов на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях (методы конструктивной приспособляемости зданий к большим неравномерным осадкам, различные способы укрепления и уплотнения слабых и неустойчивых грунтов, разные типы искусственных глубоких оснований, полная или частичная закладка горных выработок, водозащитные мероприятия и др.), нельзя применять общие стандартные решения для всех случаев строительства. Мероприятия должны приниматься в каждом отдельном случае с учетом полного комплекса факторов, влияющих на устойчивость, долговечность и экономичность возводимых сооружений.

При массовом крупнопанельном жилищном строительстве необходимо правильно размещать здания, выбирая участки с наиболее благоприятными грунтовыми условиями. Применительно к местным условиям сочетают конструктивные мероприятия с частичной или полной ликвидацией просадочных свойств грунтов и применением соответствующих водозащитных мероприятий. Просадочные свойства грунтов можно ликвидировать полностью на всю толщу их залегания либо частично путем силикатизации, термической переработки или уплотнения (глубинного или поверхностного), проходки всей просадочной толщи грунта (заглубленными фундаментами, тонкостенными оболочками, сваями разных типов, песком, шлаком, уплотненным или укрепленным грунтом и др.), предварительного замачивания просадочной толщи грунта и т. д. Этими средствами наиболее опасные грунты высших категорий просадочности можно переводить в менее опасные или даже полностью непросадочные, надежные грунты.

Нельзя во всех случаях рассчитывать только на укрепление слабых и ненадежных грунтов, так как существующие методы относительно дóроги для массового строительства. Их можно применять только для наиболее ответственных сооружений и для просадочных грунтов, залегающих на глубину не более 12—15 *м* ниже подошвы фундаментов. Поэтому при больших мощностях просадочной толщи эти методы можно сочетать с другими мероприятиями или при возможности уплотнять грунты предварительным замачиванием.

Конструктивные мероприятия для крупнопанельных зданий, возводимых на просадочных грунтах, следует выбирать в зависимости от общей конструктивной схемы секции здания: жесткой, податливой или комбинированной.

При этом следует иметь в виду, что опыт многолетнего применения водозащитных мероприятий свидетельствует об их не-

достаточной эффективности. Не говоря о таких постоянных источниках замачивания, как различные водоводы, даже прокладка электрокабелей в грунте или временная отрывка траншей для целей, не связанных с водой, вызывает дренирование атмосферных и других вод по обычно неуплотненным рыхлым засыпкам траншей. Это способствует местному постоянно нарастающему

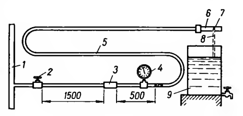



Рис. 22. Схема установки для опытной проверки утечек воды при различных повреждениях водопроводных и канализационных магистралей (Запорожье):

*1* — напорный водовод; *2* — вентиль; *3* — водомер; *4* — манометр; *5* — гибкий шланг; *6* — испытываемый отрезок дефектного водовода с разными повреждениями — отверстиями *7*; *8* — струя вытекающей воды из отверстия *7*; *9* — контрольный мерный бак.

во времени замачиванию просадочных грунтов и неравномерным, иногда аварийным, осадкам возведенных на них зданий.

Применение самых дорогих водозащитных мер практически не обеспечивает полной защиты просадочных лессовых оснований под фундаментами от замачиваний, и обычно через несколько лет эксплуатации появляются неравномерные осадки отдельных фундаментов. При этом часто выясняется, что даже небольшие утечки воды, величина которых не превышает десятых и даже сотых долей процента от общего водопотребления, с течением времени могут привести к весьма опасным последствиям.

Проведенные автором в 1964—1965 гг. в Запорожье специальные исследования по проверке теоретически возможного количества воды, накапливающейся в лессовых грунтах вследствие разных повреждений и утечек из безнапорных и напорных водоводов, показали, что оно с течением времени может достигнуть больших величин. Так, например, при общей площади сечения вытекаемой струи всего 0,5 *см*$^2$ количество накапливающейся в грунте воды может достигать в год от утечек из безнапорных водоводов 3,5—4,2 тыс. *м*$^3$, а из напорных водоводов при давлении в сети 3 *ати* — до 20—23 тыс. *м*$^3$.

В табл. 3 и 4 приведены расчетные и фактические расходы утечек воды из различных дефектных напорных и безнапорных водоводов при разных степенях их повреждений. На рис. 22 показана схема установки, применявшейся при этих работах.

В зависимости от степени кольматации грунта максимальные величины утечек воды могут снижаться, но они вполне возможны и могут являться причиной опасных замачиваний просадочных лессовых грунтов и аварийных осадок возведенных на них фундаментов зданий и сооружений.

При наличии просадочных лессовых грунтов большой мощности (20—35 *м*) применение частичного закрепления или уплот-

Таблица 3. Расчетные утечки воды из поврежденных водоводов

| Диаметр струи воды, *мм* / Сечение струи воды, *см²* | Утечка воды, *м³*, за 1 *ч* (в числителе) и за 1 год (в знаменателе) при давлении в водоводной сети, *ати* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0—0,1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 |
| 5 / 0,2 | 0,188 / 1647 | 0,594 / 5203 | 0,840 / 7358 | 1,030 / 9023 | 1,329 / 11642 | 1,880 / 16469 |
| 8 / 0,5 | 0,482 / 4222 | 1,524 / 13341 | 2,155 / 18878 | 2,641 / 23115 | 3,408 / 29854 | 4,820 / 42623 |
| 12 / 1,1 | 1,083 / 9487 | 3,422 / 29977 | 4,841 / 42407 | 5,935 / 51990 | 7,657 / 67066 | 10,830 / 94870 |
| 14 / 1,5 | 1,475 / 12921 | 4,661 / 40830 | 6,593 / 57155 | 8,083 / 70807 | 10,428 / 91349 | 14,750 / 129210 |
| 16 / 2,0 | 1,926 / 16872 | 6,086 / 53313 | 8,609 / 75425 | 10,554 / 92453 | 13,617 / 119285 | 19,260 / 168518 |
| 20 / 3,1 | 3,010 / 26368 | 9,512 / 83325 | 13,455 / 117866 | 16,495 / 144469 | 21,281 / 186422 | 30,010 / 262888 |
| 25 / 4,9 | 4,703 / 41198 | 14,861 / 130182 | 21,022 / 184153 | 25,772 / 225763 | 33,250 / 291270 | 47,030 / 385703 |
| 50 / 19,5 | 18,810 / 164776 | 59,440 / 520694 | 84,081 / 736550 | 103,079 / 902972 | 132,987 / 1164966 | 188,100 / 1647756 |

Таблица 4. Фактические утечки воды из поврежденных водоводов (по данным автора на опытной площадке НИИСКа в Запорожье, 1964 г.)

| Диаметр струи воды, *мм* / Сечение струи воды, *см²* | Утечка воды, *м³*, за 1 *ч* (в числителе) и за 1 год (в знаменателе) при давлении в водопроводной сети, *ати* | | | | Диаметр струи воды, *мм* / Сечение струи воды, *см²* | Утечка воды, *м³*, за 1 *ч* (в числителе) и за 1 год (в знаменателе) при давлении в водопроводной сети, *ати* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0—0,1 | 1 | 2 | 3 | | 0—0,1 | 1 | 2 |
| 5 / 0,2 | 0,180 / 1577 | 0,570 / 4993 | 0,820 / 7183 | 0,940 / 8234 | 14 / 1,5 | 1,440 / 12614 | 3,840 / 33638 | 5,010 / 43888 |
| | 0,180 / 1577 | 0,700 / 6132 | 0,840 / 7348 | 0,980 / 8585 | | 1,410 / 12352 | 3,280 / 28733 | 4,980 / 43625 |
| | 0,156 / 1367 | 0,516 / 4520 | 0,836 / 7323 | 0,960 / 8410 | | 1,368 / 11984 | 3,904 / 34199 | 4,640 / 40646 |
| | 0,200 / 1752 | 0,492 / 4310 | 0,816 / 7148 | 1,020 / 8935 | | 1,394 / 12211 | 3,240 / 28382 | 5,100 / 44676 |
| | 0,204 / 1787 | 0,486 / 4257 | 0,832 / 7288 | 0,980 / 8585 | | 1,430 / 12527 | 4,080 / 35741 | 5,400 / 47304 |
| | 0,190 / 1664 | 0,600 / 5256 | 0,848 / 7428 | 1,010 / 8848 | | 1,460 / 12790 | 4,200 / 36792 | 5,280 / 46253 |

Продолжение табл. 4

| Диаметр струи воды, *мм* / Сечение струи воды, *см²* | Утечка воды, *м³*, за 1 *ч* (в числителе) и за 1 год (в знаменателе) при давлении в водопроводной сети, *ати* 0—0,1 | 1 | 2 | 3 | Диаметр струи воды, *мм* / Сечение струи воды, *см²* | Утечка воды, *м³*, за 1 *ч* (в числителе) и за 1 год (в знаменателе) при давлении в водопроводной сети, *ати* 0—0,1 | 1 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8/0,5 | 0,480/4205 | 1,456/12575 | 2,080/18221 | 2,340/20498 | 16/2,0 | 1,884/16504 | 5,700/49932 | — |
| | 0,470/4117 | 1,560/13666 | 2,100/18396 | 2,380/20849 | | 2,080/18221 | 5,700/49932 | — |
| | 0,486/4257 | 1,420/12439 | 1,880/16294 | 2,220/19447 | | 2,064/18081 | 5,200/45552 | — |
| | 0,496/4345 | 1,480/12965 | 1,880/16469 | 2,360/20647 | | 1,980/17345 | 4,480/39245 | — |
| | 0,408/3574 | 1,364/11949 | 1,890/16556 | 2,390/20936 | | 1,932/16924 | 5,800/50808 | — |
| | 0,440/3854 | 1,380/12089 | 1,880/16469 | 2,420/21199 | | 1,900/16644 | 5,020/43975 | — |
| 12/1,1 | 1,188/10407 | 3,080/26981 | 4,280/37493 | — | 20/3,1 | 2,880/25229 | — | — |
| | 1,140/9986 | 2,880/25229 | 4,140/36266 | — | | 2,760/24178 | — | — |
| | 1,194/10459 | 3,120/27331 | 3,900/34164 | — | | 2,800/24528 | — | — |
| | 1,080/9451 | 3,140/27506 | 4,300/37668 | — | | 2,580/22601 | — | — |
| | 1,090/9548 | 2,960/25930 | 4,180/36617 | — | | 2,520/22075 | — | — |
| | 1,060/9286 | 2,980/26105 | 3,880/33989 | — | | 2,460/21550 | — | — |

Примечание. При больших сечениях повреждений в водопроводах и при повышенных давлениях в сети экспериментальную проверку фактических утечек воды не удалось провести по техническим причинам.

нения их в верхней зоне на глубину до 5—15 *м* в виде грунтовых подушек, свайных фундаментов разных типов, не прорезающих всей просадочной толщи, и других соответствующих мероприятий не избавляет проектируемые и возводимые сооружения и здания от последующих просадок при замачивании в периоды строительства и эксплуатации. Это обычно приводит к большим затратам на их последующее восстановление.

Такое явление характерно для промышленных сооружений с большим расходом производственных вод. Только на временное выравнивание подкрановых путей в некоторых цехах ежегодно расходуются сотни тысяч рублей и сотни тонн металла, срываются сроки ввода в эксплуатацию цехов и создаются вынужденные простои, причем количество этих затрат с каждым годом увеличивается. Например, дополнительные затраты на рихтовку подкрановых путей по трем цехам Никопольского южнотрубного металлургического завода только за 2,5 года составили 602 тыс. руб.

В качестве другого примера можно привести случай, происшедший в 1965 г. на одном днепропетровском заводе. Здесь после 5-летней эксплуатации в результате местного замачивания произошли неравномерные осадки фундаментов, вызвавшие аварийные трещины в железобетонных консолях колонн, на которые опирались железобетонные перекрытия, что потребовало остановки части цеха и срочной установки временных металлических и деревянных креплений. В то же время при проектировании завода были приняты соответствующие водозащитные меры, которые по заключениям специалистов якобы обеспечивали полную защиту просадочных грунтов под фундаментами от замачивания. Поэтому, исходя из практики и экономических соображений, при возведении ответственных зданий и сооружений на просадочных грунтах нельзя рассчитывать только на одни водозащитные мероприятия, как недостаточно надежные при длительной их эксплуатации.

Одной из главных задач строительной науки является дальнейшее совершенствование решений, связанных с проектированием, возведением и длительной надежной эксплуатацией зданий и сооружений с различными защитными конструктивными мероприятиями и способами закрепления, уплотнения или приспособляемости подстилающих их грунтовых оснований. При этом расчетная схема возводимых зданий и сооружений должна рассматриваться как единое целое с его подземной (фундаментной) частью, а не раздельно.

Разрезку здания на секции следует производить путем устройства деформационных швов обусловленных размеров, а конструктивное выполнение должно обеспечивать свободные, предусмотренные проектом, перемещения разделяемых ими секций здания в наземной и подземной частях. Размеры деформационных швов между секциями необходимо увеличить до 100—200 *мм*. Для закрытия швов снаружи следует применять гибкие вставки или накладки с податливыми креплениями. Следует уточнить фактические размеры консольных свесов и пролетов балочных провисаний стен, образующихся при искусственном замачивании основания. Необходимо также проверить для перспективного строительства на просадочных грунтах разные кон-

структивные схемы зданий и разные сочетания их с эффективным использованием глубоких оснований, опирающихся на непросадочные грунты, и мероприятиями по ликвидации просадочных свойств лессовидных грунтов.

Как известно, основными горными мероприятиями для защиты строительных объектов являются оставление охранных целиков и закладка выработанного пространства породой. Первый метод защиты не является перспективным, так как ведет к значительным потерям угля; второй, получивший широкое распространение во многих зарубежных странах, представляет значительный интерес и для нашего народного хозяйства.

Закладка выработанного пространства защищает не только различные здания и сооружения, но и шахты от подземных пожаров, что является дополнительным серьезным аргументом в пользу этого метода защиты. Наиболее эффективна гидравлическая закладка, которая дает более индустриальное, простое, экономичное и качественное уплотнение закладочного массива и позволяет снизить величину сдвижения кровли практически от 0 до 10% (за 100% принята величина сдвижения кровли при полном ее обрушении).

Прогрессивный метод полной или частичной закладки позволяет не портить хорошие участки вблизи шахт бесполезными нагромождениями горелой породы, постоянно отравляющей газами шахтные поселки, и в то же время обеспечивает безопасность и нормальную эксплуатацию различных сооружений на подрабатываемых территориях без значительного их удорожания.

Однако, учитывая связанное с закладкой некоторое повышение стоимости добываемого угля и ведомственную разобщенность между строительными и угледобывающими организациями, весьма неохотно идут на осуществление этого чрезвычайно полезного мероприятия. В то же время по рекомендациям специальной комиссии, разработавшей в 1959 г. мероприятия по защите заводской территории от подработок шахтой 1-2 «Красный Октябрь», проведение полной закладки выработок под всей охранной территорией увеличивало стоимость добычи 1 *т* угля на этом участке всего лишь на 2,1%. Удельный вес добычи угля с полной закладкой выработок в СССР составляет около 1%, в то время как в ряде зарубежных стран — от 10 до 100%. Таким образом, за рубежом, где стоимость угля не является второстепенным фактором, применение такого на первый взгляд дорогостоящего мероприятия, как полная закладка угольных выработок, получает все большее и большее распространение. В то же время применение этого метода в СССР хотя бы для районов сосредоточения крупнопанельного строительства позволило бы намного снизить стоимость строительства и одновременно обеспечить надежность и долговечность возводимых зданий и сооружений.

Такой чрезвычайно важный вопрос, как экономическая сторона защитных строительных (конструктивных) и горных мероприятий, не освещается должным образом ни в советской, ни в зарубежной литературе. Поэтому крайне важно провести всесторонние комплексные исследования по выявлению технико-экономической целесообразности более широкого применения закладки выработанных пластов, особенно при массовой застройке компактных жилых массивов крупнопанельными домами.

В строительстве на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях УССР имеется еще много нерешенных вопросов, существенно тормозящих и удорожающих развитие в республике наиболее прогрессивного индустриального крупнопанельного строительства. По мнению автора, основными задачами, стоящими перед научно-исследовательскими организациями, по развитию крупнопанельного строительства в сложных грунтовых условиях УССР и, в частности, на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах являются:

исследования, направленные на повышение надежности и длительности безремонтной эксплуатации крупнопанельных зданий;

уточнение прогнозов расчетных параметров деформаций дневной поверхности грунта при подработках горных выработок для разных условий угольных залеганий (радиусы кривизны, горизонтальные смещения и абсолютные величины вертикальных смещений);

уточнение прогноза возможных осадок фундаментов при разных условиях замачивания подстилающих их просадочных грунтов;

выявление действительного напряженного состояния различных конструктивных схем крупнопанельных зданий при различных условиях неравномерных осадок их фундаментов (при подработках и просадках);

выявление наиболее эффективных схем крупнопанельных зданий для разных горногеологических условий подрабатываемых территорий и просадочных грунтов (с установлением наиболее оптимальных размеров секций по длине, высоте и др.);

разработка, усовершенствование и выявление наиболее эффективных конструктивных и горногеологических методов защиты крупнопанельных зданий в условиях подрабатываемых территорий и различных способов укрепления или уплотнения для просадочных грунтов, которые полностью или частично предотвращали бы возможные деформации грунта;

разработка более совершенных способов расчета и конструирования зданий.

Автор придает очень большое значение экспериментально-исследовательским работам, проводимым непосредственно в производственных, натурных условиях, которые дают возможность

в более короткие сроки и более обоснованно и полноценно решать сложные научно-технические вопросы.

В 1957 г. при открытии IV международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению (Лондон), где автор принимал участие от СССР, председатель конгресса, почетный председатель Международного общества по механике грунтов и фундаментостроению, основоположник науки «Механика грунтов», проф. Карл Терцаги, обращаясь к делегатам конгресса, очень образно подчеркнул большое значение экспериментальных исследований в производственных условиях *. Он сделал вывод, что без опыта на практике нельзя создать никакой обоснованной теории. Именно работа с экспериментами, проводившимися непосредственно на стройках, позволила проф. Терцаги не только обобщать богатую практику, но и на основе этого делать полезные теоретические выводы. Вот почему он считает, что научный работник должен больше обращаться к производственному эксперименту, иначе он гибнет, так как не может дать ничего полезного.

Крупнейший ученый современности, почетный академик многих стран мира П. Л. Капица в своей статье «Горизонты Советской науки — жернова теории и зерна практики», опубликованной в 1965 г., придавая исключительно большое значение экспериментальной стороне научно-исследовательских работ, отмечает, что в последнее время стала замечаться недооценка экспериментальных работ, «...которая нарушает гармоническое развитие науки, тормозит ее нормальный рост. В чем же причина этого явления?... Техника эксперимента значительно усложнилась. Она требует больших усилий при выполнении опыта. Обычно это не под силу одному человеку, поэтому работа выполняется целым коллективом научных работников... Возникает несоответствие между количеством теоретических работ и возможностью подвергнуть их опытной проверке. В самом деле, теоретик часто печатает несколько работ в год, а чтобы сделать экспериментальную проверку одной работы, требуется обычно год или полтора... В результате ряд теоретических выводов не проверяется. Теория начинает работать сама на себя, и в лучшем случае ее ценность определяется из методических и эстетических соображений. Итак, количество экспериментаторов должно значительно превышать число теоретиков... Работа экспериментатора требует гораздо больше усилий: ученому не только нужно понимать теорию, но он должен иметь ряд практических навыков в обращении с приборами.... Высокое качество эксперимента — необходимое условие здорового развития науки. О самом механизме связи теории и практики мне хотелось бы напомнить уже упо-

---

* Подробнее см. «Труды IV международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению». Т. III. Лондон, 1958.

требленным однажды красивым сравнением теории с жерновами, а опытных данных — с зерном, которое засыпается в эти жернова. Совершенно ясно, что одни жернова, сколько бы ни крутились, ничего полезного дать не смогут (теория работает сама на себя). Но качество муки определяется качеством зерна, и гнилое зерно не может дать питательной муки. Поэтому доброкачественность эксперимента является необходимым условием как для построения передовой теории, так и для получения практических результатов. Я думаю, что мы, ученые, можем сказать: теория — это хорошая вещь, но правильный эксперимент остается навсегда».

Один из виднейших научных деятелей в области железобетона — австрийский ученый Залигер также, подчеркивая особую важность в науке правильно поставленного эксперимента, предупреждал, что «...малейшее игнорирование эксперимента неминуемо приведет к беспощадной лженауке...».

До 1961 г. нигде не проводились такие широкие натурные эксперименты с крупнопанельным строительством в сложных грунтовых условиях, как в УССР *. Широкая и по-новому научная постановка эксперимента со строительством для этой цели специальных многоэтажных крупнопанельных зданий, доводимых в порядке эксперимента до разрушения, оказалась возможной только в условиях социалистического государства, когда в небывало короткие сроки нужно было разрешить важные научно-технические вопросы, которые обычными путями решались бы на протяжении длительного времени. На основе экспериментов были значительно улучшены расчетные и нормативные документы по строительству сооружений в сложных условиях просадочных грунтов и подрабатываемых территорий.

Дальнейшие аналогичные исследования неясных и недоработанных вопросов в области крупнопанельного строительства на просадочных грунтах позволят шире развернуть в республике этот наиболее прогрессивный вид строительства в самых сложных грунтовых условиях при значительном снижении стоимости строительства и одновременном повышении его качества, надежности и долговечности.

---

* И. М. Литвинов, В. А. Михайлов, В. П. Городничий, А. А. Баринов, О. Б. Петров, Г. М. Григорьев и др.

# СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ И УПЛОТНЕНИЯ СЛАБЫХ И ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

## Общие сведения о разных способах укрепления и уплотнения просадочных лессовых грунтов

При строительстве на слабых и просадочных лессовых грунтах применяют разные способы их укрепления, уплотнения или соответствующие конструктивные мероприятия.

Так, например, согласно требованиям действующих нормативов, прочность, устойчивость и эксплуатационная пригодность зданий и сооружений, возводимых на просадочных грунтах, обеспечиваются следующими строительными мероприятиями:

устранением просадочных свойств в пределах всей толщи просадочных грунтов или прорезкой этой толщи фундаментами;

устранением просадочных свойств в пределах части толщи просадочных грунтов или частичной прорезкой ее в целях уменьшения возможной величины просадки;

предохранением просадочных грунтов в основании от замачивания путем отвода поверхностных вод и устранения возможности просачивания в грунт производственных или хозяйственных вод с устройством системы контроля за возможной утечкой воды из всех трубопроводов и сооружений, несущих воду;

применением конструкций зданий и сооружений, специально приспособленных к просадкам основания.

Группу мероприятий или их сочетание выбирают на основе технико-экономического анализа с учетом типа грунтовых условий, возможной величины просадки, определяемой расчетом, а также особенностей и назначения возводимого здания или сооружения, условий его эксплуатации, вероятности замачивания основания и взаимосвязи с соседними объектами и коммуникациями.

Прорезка просадочных грунтов, а также применение методов устранения просадочных свойств в пределах всей толщи исключают возможность проявления просадки. В этом случае здания и сооружения возводятся без дополнительных мероприятий, как на обычных непросадочных грунтах.

Неполная прорезка толщи просадочных грунтов фундаментами допускается при условии, что возможная просадка, а также ее неравномерность за счет нижележащих просадочных грунтов не превышают допустимых величин для аналогичных зданий и

сооружений, запроектированных для обычных непросадочных грунтов.

Дополнительные конструктивные и водозащитные мероприятия не применяются в случаях, если возможные величины просадки, а также их неравномерность не превышают допустимых для данного здания или сооружения из условий обеспечения прочности и эксплуатационной пригодности. В таких случаях допускаемые величины деформаций основания устанавливаются по нормам, как для обычных непросадочных грунтов в соответствии с указаниями СНиП II-Б.1—62.

Если возможная величина просадок превышает допустимые величины, то иногда в верхних слоях основания частично устраняют просадочность, с тем чтобы возможная осадка подстилающих, не укрепленных слоев не превышала допустимой. В таких случаях ограничиваются только водозащитными или конструктивными мероприятиями.

Вся толща просадочных грунтов прорезается либо соответствующим заглублением фундаментов, либо устройством свайных фундаментов, либо применением столбов или лент из грунта, закрепленного силикатизацией, термическим упрочнением или другими проверенными методами.

Свайные фундаменты должны заглубляться в непросадочные грунты и рассчитываться в соответствии с требованиями СНиП II-Б.5—62 с учетом сопротивления по боковой поверхности только в пределах непросадочного слоя.

Просадочные свойства грунтов на всю просадочную толщу или часть ее устраняются:

уплотнением грунта тяжелыми трамбовками или заменой просадочных грунтов послойно уплотняемой подушкой из местных глинистых грунтов;

глубинным уплотнением грунтовыми сваями;

глубинным уплотнением предварительным замачиванием обычным способом;

термическим упрочнением грунтов (метод автора);

силикатизацией грунтов, осуществляемой согласно требованиям нормативов: в сухих и водонасыщенных песках с коэффициентом фильтрации 2—80 *м/сутки* — способом двухрастворной силикатизации; в мелких пылеватых сухих и водонасыщенных песках с коэффициентом фильтрации 0,5—5 *м/сутки* — способом однорастворной силикатизации или способом смолизации; в лессовых грунтах, залегающих выше уровня грунтовых вод, с коэффициентом фильтрации 0,1—2 *м/сутки* — способом однорастворной силикатизации; в трещиноватых и кавернозных скальных породах, а также песчано-гравелистых грунтах — способом цементации. В кавернозных скальных породах при большой скорости грунтовых вод в качестве вспомогательного способа к цементации применяется горячая битумизация.

Эти мероприятия осуществляются по специальным проектам, входящим в состав проектной документации, разрабатываемой проектной организацией, и их описание не входило в поставленную перед автором задачу.

### Общие данные о разработанных и рекомендуемых автором способах укрепления и уплотнения грунтов

**Способ укрепления слабых оснований заменой изобарных зон местных перенапряжений.** Исходя из фактического характера распределения напряжений под подошвой фундаментов, еще в 1932—1933 гг. автор предложил заменять слабый грунт более плотным только в пределах наиболее перенапряженных зон. Это устраняет неравномерность в общей работе системы «основание — фундамент», уменьшает непосредственные осадки от уплотнения этой зоны и обеспечивает равномерную передачу пониженных напряжений на слабый грунт. Хотя этот способ аналогичен укреплению песчаными подушками, он принципиально отличается иным теоретическим подходом к решению поставленной задачи, что дает возможность значительно уменьшать количество земляных работ и этим удешевлять общую стоимость строительства.

Для расчета изобарных зон местных перенапряжений были составлены соответствующие таблицы и графики распределения напряжений $\sigma_y$ и $\sigma_x$ под подошвой фундаментов, а затем разработаны более точные и удобные расчетные формулы для этих целей.

При обычной системе «фундамент — основание» получается очень резкий переход от материала фундамента к материалу основания вследствие значительной разницы в физических свойствах, а в связи с этим, и в напряженном состоянии этих двух материалов. Если материал фундамента обычно имеет временное сопротивление сжатию 100—300 *кг/см²* и более, то аналогичная сопротивляемость материала основания, даже при наличии хороших грунтов, колеблется в пределах 5—10 *кг/см²*, а для слабых грунтов — еще ниже (1,0—3,0 *кг/см²*). Значительная разница в физических показателях материалов является нерациональной ввиду неполноценного использования материала в фундаменте при одновременной перегрузке материала основания.

Таким образом, вследствие неравномерности работы основания из-за местных перенапряжений, а также вследствие диспропорции между сопротивляемостью материалов грунта и фундамента, система «основание — фундамент» не всегда является полноценной с технической и экономической сторон.

При слабых основаниях применение песчаных подушек из более прочного грунта несколько уменьшает этот резкий переход от прочного материала фундамента к слабому грунту. Для этого в руководствах по основаниям и фундаментам давались соответ-

ствующие указания и формулы, в основе которых лежала передача давлений только на увеличенную по размерам горизонтальную поверхность основания под углом $\varphi$ при прямоугольной эпюре давлений без учета фактического напряженного состояния под подошвой фундамента.

Разработанный автором способ укрепления слабых оснований путем замены изобарной зоны местных перенапряжений заключается в том, что только некоторая часть особо напряженной зоны (зоны местных перенапряжений) слабого основания заменяется более плотным грунтом.

В отличие от общеизвестного способа укрепления песчаными подушками, где подушки ограничивались плоскостью нулевых напряжений, в результате чего значительная часть подушки была весьма слабо напряжена, в предлагаемом способе применяется песчаная подушка только в пределах, ограниченных принятой по расчету изобарной зоной равных давлений (не только вертикальных $\sigma_y$, но и горизонтальных $\sigma_x$), загружаемой более полноценно и равномерно всесторонней нагрузкой, передающей пониженные напряжения от фундамента подстилающему слабому основанию. Таким образом, котлован заполняется более плотным грунтом только в пределах принятой напряженной зоны, так как остальная область, расположенная за ее пределами, является излишней и только вызывает увеличение объема земляных работ. В этом случае грунт как бы армируется в наиболее напряженной зоне, и более равномерно распределяются давления под подошвой фундамента в системе «основание — фундамент».

Введением укрепленной изобарной зоны создается более плавный переход от материала фундамента, имеющего сравнительно бóльшую прочность, к более слабому материалу грунта.

Если необходимо повысить в два раза плотность грунта в пределах изобарной зоны местных перенапряжений для ленточного фундамента, то при применении предлагаемого способа укрепления сокращается общий объем земляных работ по сравнению с обычным способом укрепления песчаными подушками примерно в 2 раза, а для колонн — в четыре раза в случае равенства по абсолютной величине принятых изобарных зон для ленточного фундамента и колонн, т. е. если глубины подсыпки песка или гравия одинаковы.

Кроме того, было установлено, что при необходимости повышения давления на слабый грунт в 2 раза соответствующая изобарная зона с учетом $\sigma_y$ и $\sigma_x$ не выходит за пределы горизонтальной проекции подошвы фундамента.

Разработанные методика и формулы для расчета изобарных зон местных перенапряжений экспериментально проверены, в результате чего полностью подтвердились теоретические предпосылки автора в отношении того, что осадки фундаментов на слабом грунте, укрепленном обычной песчаной подсыпкой и ук-

репленном заменой песком только в пределах изобарной зоны местных перенапряжений, одинаковы.

При проведении экспериментальных работ были выполнены три серии испытаний загрузочными штампами:

в серии испытаний № 1 основание из слабого грунта не укреплялось, т. е. объем потребного для укрепления песка равнялся нулю ($V=0$);

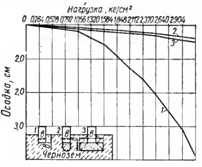



Рис. 23. Результаты испытания слабых грунтов (чернозема) загрузочными штампами:

*1* — неукрепленный грунт; *2* — грунт, укрепленный методом замены изобарной зоны местных перенапряжений; *3* — грунт, укрепленный обычной песчаной подушкой.

в серии испытаний № 2 основание из такого же слабого грунта укреплялось только в пределах изобары местных перенапряжений, глубина которой была равна ширине площадки, причем верхняя половина засыпки по ширине была равна ширине площадки, а нижняя — имела форму полушара. Эта форма засыпки была принята для бо́льшего приближения к расчетной форме изобарной зоны. Объем песка $V$ для укрепления по этому способу принимался за единицу ($V=1$). Практически следует принимать более простую прямоугольную форму котлована;

в серии испытаний № 3 основание из того же слабого грунта укреплялось обычным способом, причем глубина песчаной подушки принималась равной ширине подошвы фундамента (т. е. штампа); принимая $\varphi=45°$, ширина подушки определялась в $3\,b$, а объем песка $V$ по сравнению со второй площадкой увеличился в 12 раз ($V=12$).

Из результатов проведенных натурных испытаний (рис. 23—25) видно, что теоретические предпосылки автора по этому вопросу полностью подтвердились, так как кривые осадок загрузочных площадок для серий опытов № 2 и 3 показали совершенно идентичные результаты, несмотря на то, что объемы подсыпаемого песка, установленные по обычным формулам, были в 12 раз большими, чем по рекомендуемой автором методике.

На основании изложенного следует вывод, что при возведении сооружений на слабых грунтах применение песчаных подушек по предлагаемому способу как оправдавшему себя на ряде серийных экспериментальных загрузок, более рационально, чем по другим методикам расчета.

Для устройства оснований, укрепленных по предлагаемому способу, разработана инструкция с простыми расчетными таблицами и графиками, позволяющими несложным путем рассчиты-

вать песчаные подушки для разных типов фундаментов и в разных грунтовых условиях. Рекомендуемая в инструкции прямоугольная форма котлована диктуется производственными упрощениями в работе, что идет в запас прочности. При этом размеры подошвы котлована в плане рассчитываются с соблюдением условия, чтобы снижение нормальных напряжений $\sigma_y$ и $\sigma_x$ про-

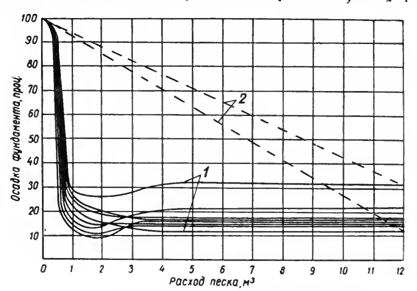



Рис. 24. Зависимость между осадками при разных нагрузках:

*1* — фактическая в неукрепленном грунте при $V=0$ $м^3$ песка (осадка 100%), в укрепленном обычным способом при $V=12$ $м^3$ песка (осадка 10—30%), в укрепленном предлагаемым способом при $V=1$ $м^3$ песка (осадка 10—28%); *2* — теоретическая по расчету на φ.

исходило до величин, при которых обеспечивалась устойчивость грунта вокруг подушки как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях до расчетных осадок фундамента.

Автор считает необходимым уточнить понятие изобарных зон. Под изобарными зонами считают зоны, ограниченные линиями равных давлений, только для $\sigma_y$, в то время как их нужно рассчитывать и с учетом боковых давлений $\sigma_x$ (см. рис. 25). Поэтому в рекомендуемом способе расчетные изобары должны учитывать возникающие в грунте под вертикальной нагрузкой горизонтальные напряжения $\sigma_x$.

Значительный экономический эффект, получаемый при применении этого способа, от уменьшения объемов земляных работ, существенно снижает стоимость строительства.

Впервые этот способ был успешно осуществлен при строительстве нескольких промышленных и складских зданий в Харь-

кове на заболоченных пойменных отложениях (1935—1936 гг.), а также в 1935 г. складов Окских причалов в Горьком. По данным проектных и строительных организаций была получена экономия в 147 тыс. руб. только по одному из таких зданий причалов.

**Способ осушения лессовых грунтов под фундаментами при местных замачиваниях.** Для сооружений, возведенных на просадочных грунтах, большую опасность представляют местные замачивания. Как показывают аварии сооружений на лессовых грунтах, местные повышения влажности грунта под фундаментами обычно вызывают неравномерные осадки сооружения, продолжающиеся весьма длительное время. Ликвидация источников замачивания не всегда спасает положение, так как стабилизация осадок в частично замоченных грунтах обычно наступает не скоро, а дополнительные даже небольшие увлажнения грунта вызывают значительные приращения осадок.

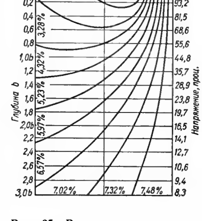


Рис. 25. Распределенне напряженнй под подошвой ленточных фундаментов на разных глубннах прн $\varphi=32°$.

Многолетняя практика строительства и эксплуатации зданий и сооружений, построенных на просадочных грунтах второго типа просадочности, показала, что применение водозащитных мероприятий себя не оправдало, особенно для сооружений с большими технологическими оборотами или расходами воды. Даже самые дорогие водозащитные меры практически не обеспечивают полной защиты просадочных лессовых оснований под фундаментами сооружений от замачивания, и обычно через несколько лет появляются неравномерные осадки. При этом часто даже небольшие утечки воды (не более десятых и даже сотых долей процента от общего водопотребления) с течением времени могут привести к весьма опасным местным замачиваниям.

Известные способы борьбы с такими осадками заключаются в различных способах укрепления или уплотнения просадочных грунтов в основаниях фундаментов (электросиликатизацией, смолизацией, глинизацией, термическим способом закрепления и др.). Однако применение этих способов не всегда возможно по технологическим условиям их осуществления. Кроме того, частичное закрепление грунтов под фундаментами только деформируемой части здания создает разнородные прочностные свой-

ства грунтов в основаниях для фундаментов одного и того же здания, что может привести к еще большим неравномерным осадкам остальных фундаментов при их последующем замачивании.

Предложенный автором в 1937 г. способ * предназначен для борьбы с небольшими местными увлажнениями лессовых грунтов под фундаментами в трудно доступных местах при условии прекращения действия источников увлажнения.

*Первый вариант* этого способа заключается в применении местных осушителей. Они представляют собой полые цилиндрические сосуды диаметром 0,1—0,2 *м* и длиной 2—3 *м*, перфорированные в верхней части и глухие в нижней, предназначенной для сбора быстрорастворяющегося гранулированного хлористого кальция по мере насыщения его водой, отсасываемой из замоченного грунта. Осушители, изготовленные из нержавеющих материалов или с соответствующей антикоррозионной защитной окраской, предварительно заполненные гранулированным хлористым кальцием, опускаются в пробуренные вокруг фундамента скважины на необходимую глубину.

Для обычных наиболее распространенных размеров фундаментов глубина скважин может быть принята на 4—6 *м* ниже подошвы фундамента или на 1—2 *м* ниже напряженной зоны грунта. Верхнюю часть скважин от поверхности земли до подошвы фундамента желательно закрепить (на время осушения) обсадными трубами.

Вследствие значительной гигроскопичности гранулированный хлористый кальций очень энергично начинает поглощать воду из окружающего грунта. После полного растворения хлористого кальция в поглощенной им воде осушители вынимают. Через выпускной кран выливают раствор хлористого кальция. Осушители снова наполняют сухим хлористым кальцием и опускают для дальнейшей сушки грунта в тех же скважинах. Полученный раствор хлористого кальция выпаривают и снова загружают в осушители. Такие местные осушители с успехом применялись в 1937—1941 гг. на Никопольском южнотрубном металлургическом заводе для осушения грунтов под отдельными фундаментами колонн и промышленного оборудования в некоторых цехах.

*Второй вариант* ** отличается от первого тем, что с целью достижения ускоренной стабилизации осадок фундаментов интенсивно отсасывается вода из замоченного под фундаментами грунта в глубокие вертикальные электровакуумдренажные скважины, в которых установлены металлические перфорированные трубы, покрытые нержавеющей сеткой с герметически закрывающимися наголовниками, из которых собираемая вода либо спускается в нижние подстилающие непросадочные грунты

---

* Авторское свидетельство на изобретение № 54454.

** Заявка № 1074772/29-14 от 15 мая 1966 г.

(или подстилающие грунтовые воды), либо удаляется вверх по мере ее накопления.

При этом с целью ускорения отсасывания воды к металлическим трубам дренажных скважин подключают отрицательные полюсы источников постоянного тока, регулируя мощность которого, можно регулировать и силу отсоса воды из замоченной зоны. В случае необходимости в процессе отсоса воды производят вакуумирование при герметически закрытых электровакуумодренажных скважинах.

С целью ускорения процесса электроосмотического водоотжатия из замоченных просадочных грунтов и снижения расхода электроэнергии в замоченные грунты через специальные скважины засыпают сухие соли ($NaCl$, $CaO$ и др.) или концентрированные растворы этих или других солей ($CaCl_2$ и др.), которые, растворяясь в грунтовой воде (вызвавшей замачивание просадочных грунтов), повышают ее электропроводность и ускоряют процессы электроосмотического отсоса воды.

**Способ уплотнения слабых и просадочных лессовых грунтов гидравлическими уплотнителями.** При уплотнении лессовых грунтов для разрушения их структуры используется кинетическая энергия удара взрыва или вибрации, что не всегда возможно в застроенных местах и вблизи работающих агрегатов. В 1937—1941 гг. автором был предложен и экспериментально проверен на строительстве в Никопольстрое способ глубинного уплотнения слабых, насыпных и лессовых грунтов при помощи гидравлических уплотнителей *, которые для разрушения и уплотнения лессовой структуры грунта используют большое давление, передаваемое при помощи обычного переносного гидропресса. Это давление прилагают к стенкам буровой скважины через водонепроницаемые уплотнители цилиндрической формы, позволяющие увеличивать первоначальный диаметр скважин от 0,15—0,2 до 2 *м*. За счет расширения скважины окружающий грунт значительно уплотняется. Этот способ отличается от других способов уплотнения отсутствием динамики и безопасным для рабочих оборудованием. Поэтому его можно применять в застроенных местах, а также непосредственно под фундаментами сооружений и действующих агрегатов без нарушения условий их эксплуатации.

При экспериментальной проверке этого способа для разрушения и уплотнения структуры грунта применялось давление 10—20 *кг/см*$^2$ и более. Уплотнители расширяли первоначальные диаметры скважин от 15—30 до 60—200 *см*, т. е. в 4—10 раз (рис. 26 и 27).

Грунт уплотнялся следующим образом. В скважину опускали в сложенном виде уплотнитель, размеры которого до уплотне-

* Авторское свидетельство № ТП-10736 от 19 сентября 1937 г.

ния соответствовали или были несколько меньше диаметра скважины. Затем при помощи обычного гидравлического пресса в уплотнитель нагнетали воду под давлением, величина которого

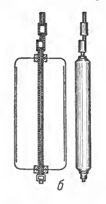



Рис. 26. Общий вид гидравлического уплотнителя, предложенного автором, в процессе его предварительного испытания перед погружением в скважину (*а*) и схема конструкции в раскрытом и закрытом видах (*б*).

зависела от степени плотности грунта. Уплотнитель легко расширялся, поскольку разрушающая сила на просадочные лессы и лессовые суглинки обычно не превышает 7—10 *кг/см*², в то время как давление в уплотнителях доводилось до 10—20 *ати* и более.

Расширенные скважины заполнялись уплотненным грунтом или весьма тощими бетонными (грунтоцементными) смесями. Применение вертикального армирования гидроуплотнителей позволило сделать их регулируемыми в части воздействия на уплотняемые грунты по заданным направлениям.

а б

Рис. 27. Схема укрепления гидравлическими уплотнителями грунта в скважинах с расширением их диаметра (для изготовления глубоких опор или свай большой грузоподъемности):

*а* — до уплотнения; *б* — после уплотнения.

После принципиальной проверки гидроуплотнителей на малых опытных образцах автор провел эксперименты в натурных условиях на строительстве в Никопольстрое с образцами цилиндрических гидроуплотнителей. Экспериментальное уплотнение грунтов цилиндрическими уплотнителями также дало положительные результаты. Уплотнялись слежавшиеся насыпные лессовые грунты при давлении 4—7 *ати* и ненарушенные лессовые суглинки с природной влажностью 14—18% при давлении 15—20 *ати*.

В 1939 г. Никопольский южнотрубный металлургический завод поручил автору запроектировать промышленное оборудование для укрепления лессовых грунтов гидравлическими уплотнителями. В соответствии с этим заданием были запроектированы, а в 1940—1941 гг. изготовлены 2-метровые секции тонких водонепроницаемых прорезиненных брезентовых гидроуплотнителей разных размеров, позволяющих увеличивать диаметр скважины от 0,2—0,3 до 1—2 *м*. Толщина стенок баллонов составляла 3 *мм*, а в местах присоединения баллонов к металлическим затворам увеличивалась до 6 *мм*. При применении одной секции уплотнение производилось на 2-метровом участке скважины на любой ее глубине, а нескольких секций, соединенных между собой,— по всей глубине скважины.

Одновременно были изготовлены уплотнители другого типа, состоящие из наружной брезентовой оболочки, прикрывающей тонкую внутреннюю резиновую камеру.

Эти гидравлические уплотнители предназначались для уплотнения ненарушенных просадочных и слабых насыпных лессовых грунтов, особенно под существующими аварийными зданиями и сооружениями, и, в частности:

для уплотнения слабых насыпных и просадочных лессовых грунтов на разной глубине без динамических воздействий на окружающую уплотняемый грунт территорию и возведенные на ней сооружения;

для уплотнения слабых и начавших деформироваться лессовых грунтов непосредственно под фундаментами различных существующих сооружений с целью немедленного прекращения их осадок;

для изготовления набивных свай и опускных колодцев различных диаметров и сечений по глубине с одновременным уплотнением окружающего их грунта;

для изготовления узких щелей в грунте, заполняемых затем каким-либо водоизолятором (глиной, бетоном, битумом и др.) с целью получения различных водозащитных экранов (по типу шпунтовых ограждений);

для изготовления ям для телеграфных столбов и др.

Война 1941—1945 гг. не позволила довести эти работы до завершения, что и намечается выполнить НИИСКом в ближайшие годы.

**Термический и термохимический способы глубинного укрепления просадочных лессовых и слабых глинистых грунтов.** В глинистых и особенно в просадочных лессовых грунтах колебания в содержании воды могут быть причиной серьезных аварий. Термическая обработка грунта является эффективным методом снижения его чувствительности к вредным воздействиям воды.

Издавна известно применение термической обработки (обжига) глинистых грунтов для изготовления жилищ и предметов

домашнего обихода. Термическую обработку глинистых грунтов непосредственно в местах их залегания для дорожных целей стали применять в эксплуатационном порядке только в начале двадцатого столетия. Еще более молодой метод глубинного термического закрепления просадочных лессовых грунтов в основаниях различных зданий и сооружений, предложенный и разработанный в СССР и получивший практическое распространение при возведении новых зданий, а также при ликвидации аварийных осадок ранее построенных зданий и сооружений.

Попытки применения термического способа для глубинного уплотнения глинистых грунтов путем непосредственной теплопередачи за счет создаваемого температурного перепада (проф. Белеш — Румыния и др.) не нашли практического применения вследствие весьма значительной длительности и неэкономичности.

В настоящее время известны два основных способа глубинного термического укрепления просадочных лессовых грунтов.

*Первый способ* (автор Н. А. Осташов) заключается в нагнетании в грунт через жароупорные трубопроводы и скважины горячего воздуха предварительно нагретого до 600—800° С в стационарных или передвижных нагревательных агрегатах (рис. 28, *а*). Попытки применить этот способ не увенчались успехом, и он не получил распространения вследствие весьма малой эффективности и высокой стоимости. Стоимость 1 $м^3$ укрепленного таким способом грунта значительно превышала стоимость 1 $м^3$ железобетона, а время, потребное для укрепления, не укладывалось в реальные для строительства сроки.

*Второй способ* термического или термохимического укрепления принципиально отличается от первого (автор И. М. Литвинов). Он был не только практически освоен, но и получил широкое распространение в СССР и за рубежом.

Этот способ (рис. 28, *б*) основан на термической и термохимической обработке укрепляемых грунтов горячими газообразными продуктами горения, обогащенными при необходимости специальными химическими добавками, причем горючее (газообразное, жидкое, твердое) сжигают непосредственно в толще укрепляемого грунта или в устьях герметически закрытых скважин, или над такими скважинами с регулированием химического состава продуктов горения путем соответствующих химических добавок.

В результате воздействия на грунты раскаленных газообразных продуктов горения и химических добавок (твердых, жидких или газообразных), вводимых до процесса термической обработки грунта, в процессе ее или после, достигается соответственно термическое, термохимическое или комбинированное укрепление различных грунтов. Укрепляемая толща грунта прогревается до температур, вызывающих необходимые изменения

его свойств, главным образом за счет напорной фильтрации под избыточным давлением раскаленных продуктов сгорания по порам укрепляемой толщи грунта.

При непосредственном сжигании любого вида топлива в толще укрепляемого грунта происходят термические и термохимические

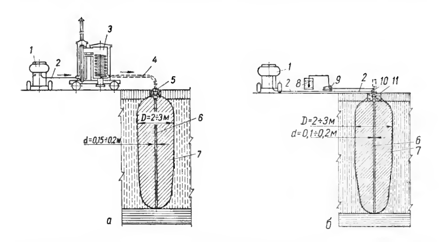



Рис. 28. Схемы установок для глубинного термического укрепления просадочных лессовых и слабых глинистых грунтов:

*а* — по первому способу — нагнетание в грунт предварительно нагретого на поверхности воздуха; *б* — по второму способу — сжигание топлива непосредственно в укрепляемой толще грунта в герметически закрытых сверху скважинах; *1* — компрессор; *2* — трубопровод холодного воздуха; *3* — агрегат для подогрева воздуха; *4* — термоизолированный трубопровод из жаростойкой стали; *5* — затвор; *6* — скважина; *7* — зона термически укрепленного грунта; *8* — емкость для жидкого или газообразного горючего; *9* — насос для подачи в скважины топлива под давлением; *10* — форсунка; *11* — герметически закрытый сверху затвор с камерой сгорания (может находиться в грунте или над скважиной).

реакции и преобразования. Поэтому более правильным было бы называть термический способ термохимическим. Однако с целью разграничения случаев, когда продукты сгорания не обогащаются и когда обогащаются дополнительными химическими добавками, было решено сделать соответствующее искусственное разграничение на термический и термохимический способы, хотя, по сути, оба способа являются термохимическими. Эта терминология вошла в печатные источники и в СНиПы. Поэтому предложения некоторых научных работников (В. С. Подъяконов — МИСИ) называть термический способ термохимическим не только не вносят ничего нового по существу, но вводят в заблуждение.

Возможность регулирования температурного режима в процессе термического закрепления грунта путем подачи разного количества воздуха на 1 *кг* сжигаемого топлива или на 1 $м^3$ горючего газа с широким диапазоном развиваемых при этом тем-

ператур (до 2000° С) позволяет применять второй способ не только для равномерного укрепления значительных массивов просадочных лессовидных грунтов, но и для других целей в строительстве, когда требуется сплавление грунта.

Для лучшей инфильтрации раскаленного воздуха в грунте необходимо постоянно поддерживать в скважинах избыточное давление за счет нагнетания холодного воздуха под давлением. Повышение избыточного давления резко увеличивает эффективность термической обработки и улучшает технические и экономические показатели. Основным условием, обеспечивающим избыточное давление, является герметизация устья скважины и осуществление мероприятий по уменьшению газопроницаемости верхней зоны грунта. Максимальная температура продуктов сгорания в скважине не должна превышать температуры плавления укрепляемого грунта. Расход горючего в единицу времени устанавливается в зависимости от газопроницаемости грунта.

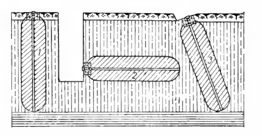


Рис. 29. Рекомендуемые автором размещения скважин для термического закрепления грунтов:
*1* — вертикальное; *2* — горизонтальное; *3* — наклонное.

Второй способ требует менее сложного оборудования, менее трудоемок и намного экономичнее первого, что расширяет область его применения.

Установка для первого способа весьма громоздка, весит свыше 16 *т*, имеет очень низкий к. п. д. (не более 5%) и позволяет обжигать грунт только в одной скважине.

Нагревательная установка по второму способу представляет собою портативную и легкую форсунку для топлива весом 3,5 *кг*. К. п. д. этой форсунки составляет примерно 90—95%.

В дальнейшем приведены данные, касающиеся только второго способа закрепления.

Показанная на рис. 28, *б* схема установки по второму способу предназначена для жидкого топлива. Для газообразного топлива она несколько изменяется. При применении газообразного топлива значительно облегчается разжигание скважины, происходит более равномерный прогрев ее стенок, а следовательно, и толщи грунта, упрощается регулировка температуры, создаются лучшие условия для предохранения стенок скважины от их оплавления, значительно удешевляется стоимость термического укрепления.

При достаточной мощности источников подачи воздуха, обеспечивающей избыточное давление в скважинах в пределах

0,25—0,50 *ати*, можно вести одновременно работы по термическому укреплению значительных по объему массивов грунта.

При применении предложенного автором второго способа * термическое закрепление грунта можно производить не только через вертикальные скважины, но и в наклонных и горизонтальных скважинах (рис. 29).

Передача тепла окружающему грунту осуществляется главным образом в результате фильтрации раскаленных газообразных продуктов горения и воздуха через поры укрепляемого грунта и в меньшей мере непосредственной теплопередачей, обусловленной разностью температур и контактом между источниками нагрева и грунтом.

У лессовидных грунтов, подвергнутых термическому воздействию, полностью ликвидируются просадочные свойства и размокаемость; во много раз повышается сопротивляемость сжатию, сдвигу и сцеплению; немедленно прекращаются процессы осадок, вызванные увлажнением этих грунтов под нагрузкой; изменяется цвет (от палевых оттенков, свойственных природному состоянию, до красновато-кирпичных тонов).

Термическое укрепление грунтов основано на том, что глинистые грунты в зависимости от состава и структуры, а также от интенсивности и продолжительности воздействующих на них термохимических реакций полностью или частично теряют свои природные свойства, превращаясь в искусственный камень за счет потери химически связанной воды и сопутствующих этому химико-физических изменений, и делаются более водоустойчивыми и прочными.

Как показали исследования автора, при прогреве глинистого грунта до 100—105° С удаляется только физически связанная вода, располагаемая за пределами электрического поля мицеллы. Удаление из грунта физически связанной воды не вызывает в нем коренных физических или химических изменений, этот процесс вполне обратимый.

При дальнейшем повышении температуры, различной для разных химико-минералогических составляющих глинистых грунтов, начинает удаляться химически связанная вода и происходят термохимические реакции, в результате чего у мицелл появляется клеющая способность. Полуобезвоженные частицы грунта соединяются в небольшие агрегаты, и грунт существенно изменяет свои физические свойства. Такая дегидратация грунта обычно представляет собой процесс практически необратимый и вызывает в грунтах существенные изменения их химико-физических свойств.

Грунты, содержащие значительное количество органических коллоидов (гумуса и др.) и коллоидальной минеральной части

---

* См. авторское свидетельство на изобретение № 95592 от 2 июня 1947 г.

(монтмориллонит и др.), реагируют даже на невысокие температуры и уже при 200° С начинают приобретать повышенную водостойкость с агрегированием мелких фракций в более укрупненные гранулы.

Дальнейшее повышение температуры вначале ведет к спеканию (перестройке кристаллической решетки) и затем к сплавлению (полному разрушению кристаллической решетки).

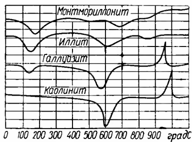



Рис. 30 Дифференциальные термические кривые (термограммы) для четырех основных минералов глинистой части просадочного лессового грунта.

Картину внутренних изменений в кристаллической структуре различных минералов глины при прокаливании можно получить путем дифференциально - термического анализа. На рис. 30 представлены дифференциальные термические кривые четырех минералов глины, для которых эндотермические реакции, соответствующие потере ОН воды, отмечены пиками, направленными вниз. В этих фазах могут происходить необратимые структурные изменения, влияющие на способность этих минералов связывать воду. Три верхние кривые показывают, что монтмориллонит, иллит и другие минералы уже при температуре 150—200° С теряют часть молекулярной воды и переходят в ненабухающую форму. В просадочных лессовых грунтах Украинской ССР преобладающими минералами фракций менее 0,05 *мм*, составляющих до 80% породы, являются каолинит, монтмориллонит, гидрослюды, бейделлит и гетит. В более крупных фракциях преобладает кварц и имеется ряд акцессорных (дополнительных) минералов (ильменит, дистен, рутил, циркон и др.). Для других глинистых минералов аналогичные эндотермические реакции происходят при более высоких температурах 400—600° С (например, кривые для каолинита и других минералов, а также вторые пики для монтмориллонита, иллита и галлуазита на том же рисунке). На этих же кривых показаны и экзотермические реакции, происходящие при высоких температурах (800—1100° С) и вызывающие полное разрушение кристаллической решетки.

Таким образом, при термическом воздействии на глинистые грунты можно достигнуть значительного снижения способности связывать воду при относительно низких температурах (в пределах 150—600° С), не стремясь к высоким температурам, вызывающим полное разрушение кристаллической решетки.

В табл. 5 приведены данные, характеризующие изменения наиболее показательных физико-механических свойств просадочных лессовых грунтов в зависимости от воздействия на них различ-

**Таблица 5. Изменение физико-механических свойств просадочных лессовых грунтов при воздействии на них температуры**

| Температура обжига, *град* С | Коэффициент просадочности при давлении 3 *кг/см²* | Модуль компрессии при давлении 3 *кг/см²* | Угол внутреннего трения φ° | Коэффициент внутреннего трения | Сцепление, *кг/см²* |
|---|---|---|---|---|---|
| *Запорожье, квартал № 84* (1957 г.) | | | | | |
| 18—20 | 0,103 | 56,6 / 148,4 | 21 / 19 | 0,38 / 0,34 | 0,22 / 0,22 |
| 300—500 | 0,007 | 12,9 / 13,5 | 40 / 39 | 0,85 / 0,80 | 2,95 / 1,47 |
| 500—700 | 0,000 | 10,5 / 11,2 | — / — | — / — | — / — |
| 700—900 | 0,000 | 9,6 / 9,5 | 40 / 44 | 0,85 / 0,88 | 3,50 / 1,60 |
| *Днепропетровск, участок пожарного депо* (1957 г.) | | | | | |
| 18—20 | 0,065 | 90,0 / 160,0 | 27 / 19 | 0,50 / 0,35 | 0,30 / 0,05 |
| 300—500 | 0,000 | 24,0 / 24,2 | 40 / 35 | 0,85 / 0,70 | 1,65 / 1,60 |
| 500—700 | 0,000 | 13,5 / 13,6 | — / — | — / — | — / — |
| 700—900 | 0,000 | 12,8 / 12,8 | 42 / 42 | 0,90 / 0,90 | 4,10 / 3,90 |
| *Баглей, коксохимический завод* (1957 г.) | | | | | |
| 18—20 | 0,050 | 90,0 / 162,5 | 24 / 17 | 0,45 / 0,30 | 0,25 / 0,10 |
| 300—500 | 0,001 | 23,0 / 23,8 | 40 / 37 | 0,85 / 0,75 | 1,55 / 1,45 |
| 500—700 | 0,000 | 12,5 / 12,6 | — / — | — / — | — / — |
| 700—900 | 0,000 | 12,0 / 12,0 | 51 / 49 | 1,25 / 1,15 | 3,25 / 2,85 |

Примечание. В числителе приведены данные для сухих образцов, в знаменателе — для насыщенных водой.

ных температур. Эти данные определялись нами для образцов лессовых грунтов, отобранных из участков, где автором производилось глубинное термическое укрепление грунта под фундаментами различных производственных объектов. Данные табл. 5 подтверждают вышесказанное о положительном воздействии на укрепляемые грунты сравнительно низких температур.

Реакции, происходящие в глинистых грунтах при их термической обработке, протекают относительно медленно вследствие того, что реагирующие частицы имеют определенные размеры, мало теплопроводны, а соприкасающиеся поверхности малы, в результате чего реакции во многих местах не доходят до конца, до равновесия. Поэтому продолжительность термической обработки имеет большое значение.

Распределение температуры в толще грунта зависит от его пористости, влажности, теплопроводности, температуры газового теплоносителя и величины его избыточного давления в порах грунта. При этом до полного испарения свободной воды, заключенной в порах грунта, его температура обычно не превышает 100° С.

Образцы просадочных лессовых грунтов ненарушенной природной структуры и влажности, прогретые в лабораторных условиях до температур 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 и 1000° С, показали интересные результаты.

При нагреве до 100 и 200° С цвет лессового грунта остался палевым. При погружении в воду образцы распадались в течение нескольких секунд, т. е. оказались совершенно неводостойкими; коэффициенты просадочности почти не уменьшались и колебались в пределах от 0,106 до 0,083.

При повышении температуры до 300° С железистые соединения, имеющиеся в лессовых грунтах в виде включений среди глинистых и слюдистых минералов, также начали частично обезвоживаться и переходить из гетита и гидрогетита в гематит, который и придал грунту розоватый оттенок. Грунт, обожженный при температуре 400—600° С, приобрел розовато-красный цвет за счет дальнейшего обезвоживания железистых минералов. При температуре 600° С (выше 573° С) кварц перешел в высокотемпературную форму $\beta SiO_2$. Полевые шпаты, кальций и акцессорные минералы при этой температуре остались без изменений. Каолин, монтмориллонит и гидрослюды потеряли значительную часть конституционной воды, структура грунта стала значительно более плотной.

При нагреве до 300, 400, 500 и 600° С образцы лессового грунта, приобревшие розовато-красную окраску, показали надежную водостойкость и полностью сохраняют свою структуру, находясь в воде с 1954 г. по настоящее время. Коэффициенты просадочности у них снизились до 0,006—0,000, т. е. уменьшились в 20—800 раз, что свидетельствует о ликвидации их просадочных свойств.

При нагреве до 700, 800, 900 и 1000° С образцы грунта приобрели кирпично-красную окраску, плотную структуру и полную водостойкость (с 1954 г. по настоящее время эти образцы сохраняются в воде без изменений). Коэффициенты просадочности дополнительно снизились до 0,000. При микроскопическом ис-

следовании образцов в шлифах наблюдалась особенно сильная агрегация глинистой части проб. У каолинита, монтмориллонита, гидрослюды и хлорита при 800—1000° С полностью разрушилась их кристаллическая решетка, и они перешли в аморфное состояние. Выделившийся аморфный кремнезем сцементировал средне- и мелкообломочный материал. Карбонаты, представленные главным образом кальцитом, также диссоциировали при этих температурах.

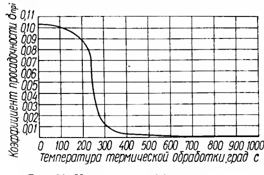



Рис. 31. Изменение коэффициента просадочности лессовых грунтов в зависимости от температуры обжига.

На рис. 31—34 приведены графики изменения коэффициентов просадочности, модулей сжимаемости, углов внутреннего трения и сцепления в зависимости от температуры обжига разных типов просадочных лессовых грунтов.

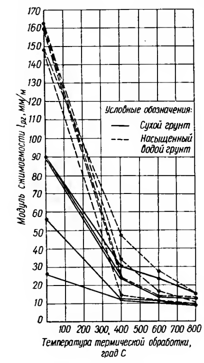



Рис. 32. Изменение модулей сжимаемости в лессовых грунтах при разных температурах закрепления для разных районов.

Сводные результаты компрессионных испытаний на просадочность никопольских лессов ненарушенной структуры и естественной влажности и затем термически укрепленных приведены на рис. 35. Из результатов испытаний видно, что термически обработанные просадочные лессовые грунты превратились в совершенно непросадочные и одновременно с этим значительно повысилась их сопротивляемость сжатию не только до, но и после замачивания.

На рис. 36 приведены результаты испытания на сдвиг запорожских просадочных лессовых грунтов. Из этих данных наглядно видно, что в результате термического укрепления лесса его показатели на сдвиг резко улучшились. Например, сцепление

необожженного лесса естественной влажности, равное 0—0,55 *кг/см²*, или в среднем 0,22 *кг/см²*, повысилось для сухого обожженного грунта до 1,65—5,25 *кг/см²*, или в среднем до 3,5 *кг/см²* (т. е. в среднем в 16 раз). Аналогично этому сцепление необожженного лесса предварительно замоченного, равное 0—0,1 *кг/см²*, или в среднем 0,025 *кг/см²*, повысилось для замоченного обожженного лесса до 1,15—1,75 *кг/см²*, или в среднем до 1,47 *кг/см²* (т. е. в 58 раз).

Угол внутреннего трения необожженного лесса естественной влажности, равный 17—22°, или в среднем 21°, повысился для обожженного сухого лесса до 38—45°, или в среднем до 40° (т. е. в 1,9 раза). Аналогично этому угол внутреннего трения необожженного предварительно увлажненного лесса, равный 17—22°, или в среднем 19°, повысился для обожженного предварительно увлажненного лесса до 35—53°, или в среднем до 44° (т. е. в 2,3 раза).

Коэффициент внутреннего трения необожженного лесса природной влажности, равный 0,3—0,4, или в среднем 0,38, повысился для обожженного сухого лесса до 0,65—1,0, или в сред-

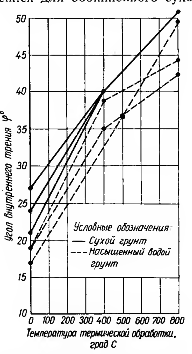



Рис. 33. Изменение сцепления в лессовых грунтах при разных температурах закрепления для разных районов.

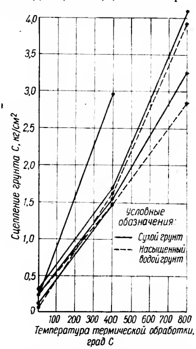



Рис. 34. Изменение углов внутреннего трения в лессовых грунтах при разных температурах закрепления для разных районов.

нем 0,85 (т. е. в 2,2 раза). Аналогично этому коэффициент внутреннего трения необожженного, предварительно увлажненного лесса, равный 0,3—0,4, или в среднем 0,34, повысился для обожженного предварительно замоченного лесса до 0,7—1,35, или в среднем до 0,98 (т. е. в 2,9 раза).

Учитывая, что рассматриваемые глинистые грунты и, в частности, просадочные лессовые являются сложными комплексными

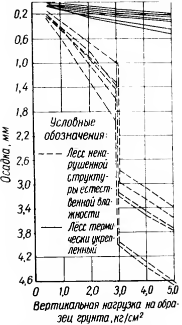



Рис. 35. Сводные результаты компрессионных испытаний на просадочность образцов лессовых грунтов до и после термического укрепления.

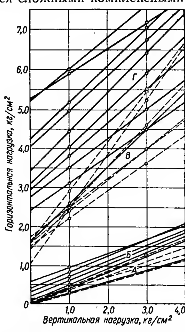



Рис. 36. Сводные результаты испытаний на сдвиг образцов лессовых грунтов ненарушенной структуры и термически укрепленных:

*А, Б* — лесс ненарушенной структуры соответственно предварительно замоченный и природной влажности; *В, Г* — лесс обожженный соответственно предварительно замоченный и в сухом состоянии.

минералогическими составляющими, к ним нельзя полностью применять результаты известных исследований процессов термического изменения различных глинистых минералов или мономинеральных глинистых пород, обычно проводимых в лабораторных условиях, а следует их корректировать с учетом ряда дополнительных факторов. Эти факторы зависят от состава и структуры грунтов, а также от технологических условий воздействия на грунты в процессе их термической обработки. В частности, следует учитывать:

полиминеральный состав глинистых составляющих;

влияние имеющихся в этих грунтах примесей карбонатов кальция и магния, хлористых солей, соединений железа и других включений, присутствие которых может изменять процессы термического воздействия в сторону создания более устойчивых по отношению к действию воды комплексов при сравнительно низких температурах;

значительную степень смешения природных материалов, что также вызывает снижение температуры воздействия, особенно при большой дисперсности (например у лессов и др.);

своеобразные условия термического воздействия на грунты (окислительная среда, избыточное давление и т. д.) и др.

В литературе подробно освещены теоретические обоснования всех процессов, происходящих в глинах при их спекании и сплавлении. Эти научные исследования могут быть применены для объяснения и регулирования процессов, происходящих в глинистых грунтах при их термической стабилизации для дорожных и строительных целей.

Однако в процессах, происходящих при термическом укреплении грунтов непосредственно в местах их залегания, нас особенно интересуют еще недостаточно изученные явления, связанные с воздействием на грунты относительно низких температур (100—600° С), которые имеют важное значение для стабилизации грунтов в общестроительных и дорожных целях, так как за счет вызываемой ими термической дегидратации (при низкотемпературном обжиге — прогреве) грунты теряют значительную часть гидратной — химически связанной воды,— что приводит к ликвидации просадочности, размокаемости, набухания и других показателей, улучшающих строительные свойства грунтов. Рациональным использованием низких температур можно значительно повысить объемы стабилизированных грунтов, а в связи с этим и экономичность их термического укрепления.

Интересные результаты экспериментально-теоретических исследований по выявлению процессов, происходящих в глинистых грунтах при их термической стабилизации, приведены в трудах М. М. Филагова, В. М. Безрука, С. С. Морозова и др.

В частности, работами С. С. Морозова установлено, что при воздействии высоких температур на карбонатные и глинистые минералы лессовых грунтов в них образуются новые минералы, обладающие гидравлическими свойствами. Поэтому лессовые грунты после обжига не только не снижают своей прочности при последующем их замачивании, но наоборот, приобретают при этом дополнительное по времени нарастание прочности и водоустойчивости. При расчете несущей способности термически укрепленного грунта следует принимать среднее расчетное сопротивление опорной поверхности всего обожженного массива до 3—4 *кг/см*$^2$ с модулем деформации до 200 *кг/см*$^2$.

Рассчитывать несущую способность укрепленного столбчатого массива на всю глубину просадочной толщи можно аналогично заглубленному столбчатому фундаменту с передачей всего давления от сооружения на поверхность обожженной зоны без учета передачи давления на промежутки между обожженными столбами.

Если столбчатые обожженные опоры не доходят до слоя непросадочного грунта, они работают как висячие сваи в условиях возможного увлажнения и осадки неупрочненного грунта.

В связи с тем, что термически укрепленные грунты не только полностью ликвидируют свои просадочные свойства, но и повышают несущую способность, термически укрепленные массивы можно размещать с учетом соответствующего повышения допускаемых давлений на упрочненные зоны грунта (как на кустовые сваи) с оставлением промежутков неукрепленного грунта до 66% общей площади основания.

При определении расстояния между скважинами столбы обожженного грунта следует рассматривать как сваи с предельной нагрузкой $N_n$, *кг*, вычисляемой по формуле

$$N_n \leqslant R_y F_{cp} = mRF_{cp},$$

где $R_y$ — среднее расчетное сопротивление столба обожженного грунта, определяемое на основании обжига опытных скважин, *кг/см²*;

$F_{cp}$ — площадь усредненного поперечного сечения столба обожженного грунта, определяемая по замеру опытных скважин, *см²*;

$m$ — коэффициент повышения нормативного сопротивления необработанного грунта, вычисляемый в зависимости от глубины термообработки по формулам и таблицам СНиПа;

$R$ — расчетное сопротивление грунта до термообработки, *кг/см²*.

Температура газообразных продуктов горения в скважине при полном сгорании может превышать 2000° С. Газы, имеющие такую температуру, соприкасаясь с грунтом, вызывают его оплавление, что ухудшает условия проникновения газов и замедляет скорость их движения. Во избежание этого максимальная температура газов в скважине должна быть ниже температуры плавления окружающего ее грунта.

Температура плавления лессовых грунтов колеблется в пределах 1200—1400° С, повторное нагревание грунта в скважине повышает температуру плавления на 70—100° С.

Наибольшая температура газообразных продуктов сгорания достигается при минимально возможном количестве воздуха, необходимом для химического процесса сгорания горючего. Минимально необходимое количество воздуха $V_0$ для сжигания 1 *кг* горючего может приниматься в следующих размерах, *м³/кг*:

| | |
|---|---|
| Для солярового масла (дизельного топлива) с теплотворной способностью $Q_г = 10000$ *ккал/кг* . . . | 11,2 |
| Для нефти с $Q_г = 10300 \div 10900$ *ккал/кг* . . . . | 11,5—12,2 |
| Для мазута с $Q_г \div 9740$ *ккал/кг* . . . . . . | 10,9 |
| Для коксового газа с $Q_г = 4300 \div 4820$ *ккал/кг* . . | 2,8—5,4 |
| Для генераторного газа с $Q_г = 1350 \div 1440$ *ккал/кг* . | 1,5—1,6 |

Температуру газов, образующихся в результате сгорания топлива, необходимо регулировать путем изменения количества воздуха, поступающего в скважину. При этом избыточный воздух, вводимый в скважину, не участвует в химической реакции горения и служит для смешивания с продуктами горения и снижения температуры смеси. Кроме того, он выполняет функцию дополнительного теплоносителя, передающего тепло через поры грунта.

**Таблица 6. Теоретическая зависимость между количеством подаваемого воздуха на 1 *кг* горючего и температурой газов в скважине при применении жидкого горючего (дизельного топлива)**

| $\frac{V_в,\ м^3/кг}{V_0,\ м^3/кг}$ | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_в$, $м^3/кг$ | 11,2 | 16,8 | 22,4 | 28,0 | 33,6 | 39,2 |
| $t_г$, *град С* | 2300 | 1670 | 1300 | 1050 | 896 | 785 |

Теоретически возможная температура газов в скважине $t_г$ без учета потерь (табл. 6) может быть определена по формуле

$$t_г = \frac{Q_г}{(1{,}239V_в + 1)\,C_p},$$

где $V_в$ — количество подаваемого в скважину воздуха на 1 *кг* горючего, $м^3$;

$C_p$ — средняя весовая теплоемкость продуктов сгорания при постоянном давлении $P$, принимаемая равной $0{,}235 + 0{,}000019\ t_г$ *ккал/кг · град.*

Во избежание оплавления грунта в скважине и для обеспечения наиболее оптимального режима его термической обработки количество нагнетаемого в скважину воздуха $V_в$ должно быть в 2,5—3 раза больше воздуха минимально необходимого $V_0$ для полного сгорания топлива с теплотворной способностью около 10000 *ккал/кг*. Соответственно этому на 1 $м^3$ коксового газа с теплотворной способностью 4300—4820 *ккал/*$м^3$ количество воздуха должно приниматься в пределах 10—15 $м^3$.

Количество воздуха, фильтруемого через стенки скважины в окружающий просадочный грунт, зависит от их газопроницаемости и давления в скважине и должно устанавливаться опытным путем — пробной продувкой. Для лессовых грунтов влаж-

ностью 8—20% количество воздуха, фильтруемого в толщу грунта, обычно составляет 10—40 $м^3/ч$ на 1 *м* глубины скважины. В первом приближении можно принимать линейную зависимость расхода воздуха от длины скважины.

Расчетное количество воздуха $V_в$, необходимого для обеспечения наиболее оптимального режима термической обработки в условиях полного сгорания топлива и соответствующего охлаждения продуктов горения, исчисляемое в $м^3$ на 1 *кг* сжигаемого жидкого или на 1 $м^3$ газообразного топлива, устанавливается в зависимости от заданной температуры горючих газов в скважине по данным формулы или табл. 6. Например, при расчетной температуре горючих газов в скважине 1000° С количество подаваемого в скважину воздуха должно составлять: при применении солярового масла (дизельного топлива) $V_в = 29$ $м^3$, коксового газа — $V_в = 9$ $м^3$ и т. д.

Расчетное количество горючего, сжигаемого в течение 1 *ч* на 1 *м* скважины по ее глубине, устанавливается в зависимости от его калорийности, газопроницаемости укрепляемого грунта, температуры его плавления, влажности и объемного веса скелета. Например, при расчетной температуре газов в скважине 1000° С и газопроницаемости 1 *м* скважины 20 $м^3/ч$ следует сжигать за 1 *ч* на 1 *м* глубины скважины: солярового масла не более $20 : 29 = 0{,}69$ *кг*, коксового газа не более $20 : (9+1) = 2$ $м^3$ (где 1 — объем газа).

Увеличение количества горючего, сжигаемого в единицу времени, вызывает повышение температуры газов выше расчетной, в результате чего может иметь место оплавление стенок скважины, что недопустимо.

Приведенные расчетные данные позволяют определить расход горючего в скважинах в условиях герметичности их затворов. Эти данные уточняются по результатам прожигания опытных скважин с установлением количества воздуха, фильтруемого через их стенки на 1 *м* глубины при разных давлениях внутри, и с установлением оптимальных расходов подаваемого воздуха и сжигаемого горючего на 1 *м* глубины скважины.

Для приближенных расчетов расходов горючего, воздуха и времени, потребных для термической обработки грунта на глубину 10 *м* и при диаметре обожженной зоны 2 *м*, для лессовых грунтов Приднепровья с газопроницаемостью 20 *см/мин* можно пользоваться следующими данными.

Расход топлива на 1 *м* глубины скважины в 1 *ч*: жидкого — 0,4—0,5 *кг*, газообразного — 1—1,2 $м^3$.

Расход воздуха в 1 *ч* при жидком топливе — 25 $м^3$ на 1 *кг* сжигаемого топлива, при газообразном топливе — 10 $м^3$ на 1 $м^3$ сжигаемого газа.

Затраты времени на обжиг указанных грунтов составляют примерно 1 сутки на каждый 1 *м* скважины по ее глубине.

При помощи одной скважины диаметром 0,15—0,2 *м* в течение 8—10 суток можно произвести термическое укрепление массива грунта диаметром 1,5—2,5 *м* и глубиной 8—10 *м*. При увеличении времени, затрачиваемого на термическую обработку грунта, зона укрепления для каждой скважины может достигать диаметра 3 *м* и более и глубины 15 *м* и более.

Главной трудностью осуществления нового термического способа глубинного упрочнения просадочных лессовых грунтов являлся вопрос, как зажечь и постоянно поддерживать горение в герметически закрытой сверху скважине.

Предложенный и разработанный автором в 1947 г. принцип разжигания скважин до настоящего времени является основным и заключается в следующем.

Разжигание скважины жидким топливом и вывод ее на постоянный режим обжига производятся следующим образом. Нижнюю часть разогревателя в виде металлического прутка или трубки диаметром 6—20 *мм* обертывают паклей или ветошью, которую затем смачивают жидким топливом и зажигают. На образовавшийся в скважине факел пламени посредством форсунки направляют слабую струю горючего и воздуха. Когда внутренняя огнеупорная часть камеры сгорания раскалится до ярко-красного цвета, разжигание считается законченным. После этого разогреватель вынимают из скважины, форсунку наглухо закрепляют в затворе и доводят подачу горючего и воздуха до проектных размеров с тем, чтобы перенести обжиг в глубину скважины.

Газообразные продукты сгорания при разжигании удаляются через выводную трубку затвора (трубку нижнего поддува).

Для разжигания скважины требуется около 1 *кг* жидкого топлива, а время, затрачиваемое для этого, обычно составляет 15—25 *мин*.

После установления устойчивого нормального режима работы форсунки, что характеризуется ярким пламенем в камере сгорания и отсутствием дыма, выходящего через выводную трубку затвора, отверстие выводной трубки закрывают краном, затем подключают к нему воздух нижнего поддува и повышают давление в скважине до расчетного.

Разжигание скважины газообразным топливом и вывод ее на постоянный режим производятся следующим образом. Вначале включают компрессоры и газодувку, а потом открывают краны на воздухосборнике и газосборнике. Давление в воздухосборнике поднимают не более чем до 1,1—1,2 *ати*. Избыток давления снимают путем частичного открывания свободных кранов. Количество подаваемого в воздухосборник воздуха следует увеличивать постепенно, по мере увеличения подключаемых к обжигу скважин, в связи с чем компрессоры вводятся в работу также последовательно.

Воздух подают только в форсунку в небольшом количестве, необходимом для процесса горения, в связи с чем краны на трубках затвора для подачи воздуха на этот период перекрывают. Регулируют подаваемый воздух регулировочным маховичком форсунки.

Затем открывают подводящие газ краны: вначале у газосборника и потом у форсунки. Одновременно с этим поджигают струю газа, выходящего из форсунки. Факел горения регулируют путем уменьшения или увеличения подачи воздуха и газа.

Зажженную форсунку необходимо установить в верхней части затвора, направив горящий факел в скважину на огнеупорную часть камеры сгорания, оставляя при этом зазор между запорной втулкой форсунки и отверстием в верхней крышке затвора. В таком положении форсунку временно закрепляют к трубке смотрового глазка.

После нагрева огнеупорной камеры сгорания до ярко-красного цвета форсунку следует установить в нормальное (вертикальное) рабочее положение и закрепить клиньями. В дальнейшем постепенно увеличивают интенсивность горения газа в скважине.

Время, необходимое для разжигания 10 скважин, составляет не более 1,0—1,5 *ч*.

Разжигать скважины горючим газом значительно проще и быстрее, чем жидким топливом. При использовании газообразного топлива можно применять более упрощенную конструкцию затвора.

В процессе проведения работ по термическому укреплению грунта необходимо вести непрерывные наблюдения за поддержанием температуры 750—1000° С в скважинах при давлении 0,3—0,5 *ати*. За режимом горения в скважине наблюдают через смотровой контрольный глазок затвора. Нормальная работа форсунки характеризуется бесцветным пламенем в камере сгорания и отсутствием дыма.

Скважина по всей своей глубине должна быть прогрета до красного цвета. Потемнение в нижней части скважины сигнализирует о недостаточности давления или плохой герметизации.

Выравнивание температуры по глубине скважины достигается удлинением факела раскаленных газов путем увеличения избыточного давления в скважине, вызывающего усиленную фильтрацию газов в толщу грунта, в результате чего процесс термической обработки грунта ускоряется и захватывает бóльшую зону.

При отсутствии избыточного давления в скважине во время ее прожигания длина факела раскаленных газов значительно укорачивается, зона повышенной температуры концентрируется только в верхней части скважины, где возникает опасность оплавления грунта на ее боковых поверхностях. При этом резко снижается эффективность термического укрепления из-за значительного уменьшения размеров зоны укрепленного грунта при

одновременном непроизводительном увеличении времени, а также расход горючего и воздуха.

Красный цвет с беловатым оттенком сигнализирует о недопустимом перегреве стенок скважины, грозящем оплавлением ее стенок, в результате которого практически прекращается фильтрация горячих газов через поры укрепляемой толщи грунта, что приводит к браковке этой скважины и замене ее другой.

Причиной перегрева является чрезмерное, превышающее допустимое расчетом количество сжигаемого горючего при недостатке добавочного воздуха. В таком случае необходимо немедленно отключить подачу горючего и охладить скважину путем нагнетания в нее холодного воздуха. После снижения температуры стенок скважины до 700—800° С (не ниже температуры воспламенения газа — 680° С) форсунка переключается на нормальный режим обжига.

Более точное наблюдение за температурой в скважине осуществляется при помощи оптического пирометра. Для этого периодически останавливают горение в скважине, перекрывая для этого подачу горючего вначале на газосборнике (или у насоса при работе на жидком топливе), а затем на форсунке, после чего вынимают форсунку из затвора, просматривают состояние скважины, а затем оптическим пирометром замеряют температуру стенок скважины.

Нормальный обжиг должен вестись при температурах 800—1000° С. В случае превышения температуры свыше 1000° С стенки скважины охлаждают.

При систематическом перегреве скважин, свидетельствующем о недостаточной мощности источников подачи сжатого воздуха, необходимо отсоединить одну или несколько скважин с целью переключения всего воздуха на оставшиеся. Отключенные скважины можно обжигать и после перерыва.

Особенно важно постоянно поддерживать в скважинах необходимое избыточное давление, которое в начале и в процессе обжига должно быть не менее 0,3—0,5 *ати*, а в конце — не ниже 0,2—0,25 *ати*.

Давление горячих газов в скважине контролируют через 1 *ч* по показателям ртутного или пружинного манометра, установленного на верхней части затвора с ценой делений в 1 *мм рт. ст.* или в 0,02 *ати*.

При падении давления в скважине вследствие возможного ослабления герметичности затвора и фильтрации продуктов горения через образовавшиеся трещины вокруг него необходимо срочно усилить герметизацию. Трещины в бетоне заливают цементным раствором, а при фильтрации через дневную поверхность грунта — применяют чеканку глиной.

Одной из причин снижения давления в скважинах является неправильное подключение их по циклам, когда обжигают сква-

жины все подряд, а не через одну (в шахматном порядке). Во втором случае горячие газы будут выходить наружу равномерно — через толщу прожигаемого грунта в промежуточные скважины, чего не будет в первом случае.

Воздухом, подаваемым через форсунки и затворы, в скважинах поддерживается давление 200—350 *мм рт. ст.* или 0,25—0,50 *ати.* Для контрольных замеров воздуха применялось несложное приспособление (рис. 37).

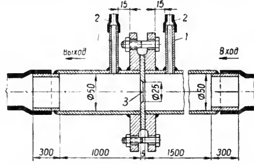



Рис. 37. Приспособление для замеров расхода воздуха и газа:

*1* — ниппеля для подсоединения дифманометра; *2* — резиновые трубки для подключения; *3* — диафрагма.

При помощи дифманометра (U-образной стеклянной трубки, наполненной на 40—50% ртутью или водой) замеряют перепад давлений двух участков трубы (в *мм рт. ст.)* и на основании этого определяют фактический расход воздуха (рис. 38).

Так, например, требуется определить фактический расход воздуха $V_в$ в $м^3$ на скважину в 1 *ч* при замеренном перепаде дав-

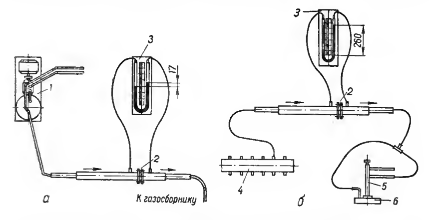



Рис. 38. Схема подключения диафрагмы и дифманометра при замере:

а — расхода газа; *б* — расхода воздуха; *1* — газодувка; *2* — диафрагма; *3* — U-образный дифманометр; *4* — воздухосборник; *5* — форсунка; *6* — затвор.

ления (по отсчету дифференциального манометра) $h=260$ *мм* и следующих исходных данных: диаметр трубопровода $D=$ $=50$ *мм*; диаметр рабочей части отверстия диафрагмы $d=25$ *мм*;

температура воздуха $t=30°$ С; барометрическое давление $P_б = 745$ *мм рт. ст.*; давление нагнетаемого воздуха $P_н = 760$ *мм рт. ст.*; коэффициент расхода (при $d/D=0{,}5$) $a=0{,}632$; объемный вес воздуха при нормальных условиях $\gamma=1{,}204$ *кг/м³*; абсолютное давление $P=P_б+P_н=745+760=1505$ *мм рт. ст.*; абсолютная температура $T=273+30=303°$; вес водяных паров в 1 *м³* воздуха (при $t=30°$ С) $f=0{,}0351$ *кг/м³*.

Количество расходуемого воздуха в 1 *ч*

$$V_в = 0{,}00673ad^2 \sqrt{\frac{P}{T}} \sqrt{\frac{h}{(\gamma+f)(0{,}804+f)}} = 0{,}00673 \times$$

$$\times 0{,}632 \cdot 25^2 \sqrt{\frac{1505}{303}} \sqrt{\frac{260}{(1{,}204+0{,}0351)\cdot(0{,}804+0{,}0351)}} = 94\ м^3.$$

Фактический расход газов при термическом укреплении грунта проверяют при помощи приспособления, изображенного на рис. 37, подключаемого по схеме, приведенной на рис. 38. Следует учитывать, что в связи с незначительным расходом газа для одной скважины, а также вследствие малых диаметров подводящих шлангов, при контрольных замерах этим приспособлением фиксируется очень небольшой перепад давления, не позволяющий достаточно точно определить фактический расход газа. Поэтому проверку следует производить не для одной, а для нескольких одновременно обжигаемых скважин. Дальнейшая методика проверки аналогична приведенной выше.

Возьмем для примера 5 одновременно обжигаемых скважин, у которых перепад давления $h=17$ *мм*, при следующих исходных данных: диаметр трубопровода $D=50$ *мм*; диаметр рабочего отверстия диафрагмы $d=25$ *мм*; температура коксового газа $t=30°$ С; барометрическое давление $P_б=738$ *мм рт. ст.*; давление нагнетаемого газа $P_н=304$ *мм рт. ст.*; коэффициент расхода (при $d/D=0{,}5$) $a=0{,}632$; объемный вес коксового газа при нормальных условиях $\gamma=0{,}436$ *кг/м³*; абсолютное давление $P=P_б+P_н=738+304=1042$ *мм рт. ст.*; абсолютная температура $T=273+30=303°$; вес водяных паров в 1 *м³* (при $t=30°$ С) $f=0{,}0351$ *кг/м³*.

Количество газа, потребное при обжиге 5 скважин, в 1 *ч*

$$V_в = 0{,}00673ad^2 \sqrt{\frac{P}{T}} \sqrt{\frac{h}{(\gamma+f)(0{,}804+f)}} = 0{,}00673 \cdot 0{,}632 \times$$

$$\times 25^2 \sqrt{\frac{1042}{303}} \sqrt{\frac{17}{(0{,}436+0{,}0351)\cdot(0{,}804+0{,}0351)}} = 32{,}5\ м^3.$$

Следовательно, для одной скважины глубиной 10 *м* расход коксового газа в 1 *ч* составит

$$32{,}5 : 5 = 6{,}5\ м^3.$$

Приведем примерный расчет необходимого количества горючего для обжига скважины глубиной 12 *м* при диаметре укрепленной зоны 2 *м*.

Исходные данные: объем укрепляемого массива $V = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} 12 = 37,6$ *м*³; объемный вес грунта $\Delta = 1,8$ *т/м*³; влажность грунта $W = 12,5\%$; вес 1 *м*³ грунтового скелета $P_1 = \frac{\Delta}{1 + 0,01\,W} = \frac{1,8}{1 + 0,01 \cdot 12,5} = 1,6$ *т*; вес воды в порах грунта $P_2 = \frac{W\Delta}{100 + W} = \frac{12,5 \cdot 1,8}{100 - 12,5} = 0,2$ *т*; начальная температура грунта $t_1 = 0°$ C; средняя температура грунта при прожигании $t_2 = 700°$ C; теплотворная способность солярового масла $Q_c = 10000$ *ккал/кг*; теплотворная способность коксового газа $Q_г = 4500$ *ккал/м*³; теплоемкость грунтового скелета $c_1 = 0,2$ *ккал*; теплоемкость воды $c_2 = 1,0$ *ккал*; скрытая теплота парообразования $c_n = 540$ *ккал*.

Расход тепла для нагрева 1 *м*³ грунтового скелета до 700° C

$$S_1 = P_1 c_1 (t_2 - t_1) = 1600 \cdot 0,2 \cdot 700 = 224000 \text{ ккал}.$$

Расход тепла для нагрева воды, содержащейся в 1 *м*³ грунта, до испарения

$$S_2 = P_2 [c_2 (100 - t_1) + c_n] = 200 [1 (100 - 0) + 540] = 128000 \text{ ккал}.$$

Полный расход тепла для нагрева 1 *м*³ грунта

$$S_n = S_1 + S_2 = 224000 + 128000 = 352000 \text{ ккал}.$$

Расход солярового масла для обжига 1 *м*³ грунта равен

$$S_n : Q_c = 352000 : 10000 = 35,2 \text{ кг}.$$

Расход солярового масла на весь укрепляемый массив грунта объемом 37,6 *м*³ равен

$$35,2 \cdot 37,6 = 1323 \text{ кг}.$$

Расход солярового масла в 1 сутки на 1 скважину составит (при расходе 0,4 *кг* за 1 *ч* на 1 *м* глубины скважины *)

$$0,4 \cdot 12 \cdot 24 = 115,2 \text{ кг}.$$

Продолжительность обжига 1 скважины

$$1323 : 115,2 = 11,5 \text{ суток}.$$

Расход коксового газа для обжига 1 *м*³ грунта равен

$$S_n : Q_г = 352000 : 4500 = 78,2 \text{ м}^3.$$

Расход коксового газа на весь укрепляемый массив грунта объемом 37,6 *м*³

$$78,2 \cdot 37,6 = 2940 \text{ м}^3.$$

* Расход горючего в единицу времени на 1 *м* глубины скважины корректируется в зависимости от газопроницаемости и температуры плавления грунта.

Расход коксового газа в 1 сутки на 1 скважину составит (при расходе 1 $м^3$ в 1 *ч* на 1 *м* глубины скважины *)

$$1 \cdot 12 \cdot 24 = 288\ м^3.$$

Продолжительность обжига газом одной скважины

$$2940 : 288 = 10{,}5\ суток.$$

Применение разработанного автором способа глубинного термического и термохимического закрепления грунтов ** технически и экономически целесообразно:

для укрепления просадочных лессовидных грунтов в основаниях вновь возводимых наиболее ответственных жилых, промышленных, специальных и других зданий и сооружений, не допускающих неравномерности осадок (доменных печей, заводских дымовых труб высотой до 100 *м* и более, водонапорных башен, различных высотных сооружений, коксовых батарей, сталеплавильных агрегатов, прокатных станов, ответственного технологического оборудования, многоэтажных крупнопанельных и каркасно-панельных жилых и промышленных зданий и т. п.);

для ликвидации аварийного состояния различных зданий и сооружений в результате интенсивно развивающихся неравномерных осадок;

для борьбы с оползневыми явлениями и в ряде других случаев.

В частности, И. М. Тюрин (Хабаровск, Институт инженеров железнодорожного транспорта) провел интересные исследования и успешно применил термический способ укрепления грунтов в железнодорожном строительстве.

Материалы автора послужили основными исходными данными для нормативных материалов по термическому закреплению грунтов.

В Приднепровье построено и восстановлено более 80 различных зданий и сооружений на термически закрепленных просадочных грунтах. Обследование состояния этих зданий показало высокую эффективность термического метода даже при условии последующего значительного замачивания термически укрепленного основания.

Например, на коксохимическом заводе в 1956—1957 гг. грунты основания трех 100-метровых дымовых труб и коксовых батарей были укреплены термическим способом на глубину 11—12 *м* ниже фундаментов. Несмотря на то, что грунтовые воды на этом участке резко поднялись и часть укрепленного массива основа-

---

* Расход горючего в единицу времени на 1 *м* глубины скважины корректируется в зависимости от газопроницаемости и температуры плавления грунта.

** При разработке и внедрении второго способа термического (термохимического) укрепления просадочных лессовых грунтов активное участие принимали Г. К. Лубенец, В. С. Посяда, А. К. Лииовский, И. Д. Фальков, В. П. Чернышов, Н. А. Русакова, Л. А. Гелис.

ния трубы № 6 оказалась ниже уровня грунтовых вод, максимальная осадка этой трубы за время строительства и 6 лет эксплуатации составила всего лишь 40 *мм*. В то же время рядом возведенная труба на грунтовых сваях за такой же период просела на 265 *мм*, т. е. в 6,6 раза больше.

В 1961 г. на этом же заводе в результате аварийного увлажнения просадочного лессового грунта 85-метровая дымовая труба № 2 ТЭЦ, построенная на уплотненном тяжелыми трамбовками основании, неравномерно просела и отклонилась от своей вертикальной оси на 991 *мм*. После обжига грунта под этим фундаментом, проведенного через 16 скважин, размещенных по периметру фундамента, осадка трубы была прекращена, а крен уменьшен.

Основания трубчатой печи № 3 отделения дистилляции смолоразгонного цеха и этажерок под точную аппаратуру одного коксохимзавода намечалось укрепить грунтовыми сваями, но взрывные работы при их изготовлении угрожали целости возведенных сооружений, поэтому основание печи и этажерок было укреплено обжигом. Последующая утечка производственных вод вызвала значительную осадку окружающей территории. Однако никаких признаков неравномерных осадок и деформаций печи № 3 и этажерок под точную аппаратуру не наблюдается.

В 1961 г. было успешно укреплено основание под этажерки и скруббер № 4 цеха сероочистки на Верхнеднепровском крахмально-паточном комбинате, запорожском заводе «Стройдеталь № 3» и на многих других промышленных объектах. Кроме того, термическое укрепление осуществлялось в основании многих ответственных общественных и жилых зданий как вновь построенных, так и при ликвидации их аварийных осадок.

Следует особо отметить весьма интересный опыт термического укрепления основания деформированных фундаментов средней части жилого 5-этажного дома № 1 в квартале № 85 по проспекту Ленина в Запорожье. В процессе возведения бутобетонных стен 2-этажного подвала появились значительные неравномерные осадки фундаментов, вызвавшие в стенах подвала большое количество вертикальных и косых трещин с раскрытием до 30 *мм*. Упрочнение грунта было произведено путем обжига 27 скважин на глубину 9 *м* ниже подошвы фундамента. Примерно через 1 год после термообработки оба этажа подвального помещения этого здания оказались полностью затоплены ливневыми водами на высоту около 6 *м*. Была установлена круглосуточная откачка воды двумя пожарными командами, все же значительная часть воды ушла под фундаменты и полностью замочила укрепленное основание. Несмотря на это, никаких дополнительных деформаций в здании не появилось, т. е. термически укрепленное основание под фундаментами этого здания прекрасно выдержало серьезное испытание.

Термическое укрепление просадочных грунтов было успешно и с высокой эффективностью применено на многих крупных стройках Запорожья. В частности, помимо термического укрепления оснований под фундаментами высотных домов башенного типа на проспекте Ленина, были также закреплены грунты в основании фундаментов 5-этажного здания центрального универмага «Украина», выполненного из сборного железобетона, под зданием областной типографии. На этих и ряде других объектов жилищного, социально-бытового, культурного и промышленного назначения просадочные лессовые грунты были упрочнены термическим способом, показавшим себя наиболее эффективным, а в отдельных случаях — единственно возможным.

Методом термического упрочнения грунтов были созданы устойчивые основания для зданий многих школ в Запорожье и Васильевке, находящихся в аварийном состоянии, складов цемента силосного типа, завода крупных блоков, фундамента под турбогенератор маслокомбината и многих других объектов.

Основным тормозом в широком распространении этого прогрессивного метода является отсутствие высокопроизводительных агрегатов, которые давали бы дешевый сжатый воздух в больших количествах. Имеющиеся поршневые компрессоры и турбовоздуходувки весьма громоздки, потребляют большое количество электроэнергии или горючего и поэтому являются неэффективными для термического укрепления грунтов, так как значительно удорожают его стоимость и этим затрудняют его широкое внедрение в народное хозяйство.

Значительное снижение стоимости термического закрепления грунтов с одновременным сокращением времени производства работ может быть достигнуто только при замене поршневых компрессоров и воздуходувок винтовыми компрессорами (рис. 39). Винтовые компрессоры потребляют электроэнергию (в переводе на 1 $м^3$ сжатого воздуха) в 6—8 раз меньше и весят в 26 раз меньше, чем применяемые в настоящее время поршневые компроссоры типа ЗИФ-51, и поэтому их можно транспортировать на любой автомашине. Винтовые компрессоры марки 200М6 имеют производительность 4300 $м^3/ч$, давление 4,2 $кг/см^2$, вес 635 *кг*, мощность электродвигателя 75 *кв*, габаритный объем (без электродвигателя) 0,27 $м^3$. Один такой компрессор может одновременно подавать воздух в 33 скважины.

В то же время применяемые компрессоры типа ЗИФ-51 производительностью 270 $м^3/ч$, весом 1300 *кг*, мощностью 40 *кв* и габаритным объемом 4,55 $м^3$ могут одновременно подавать воздух не более, чем в три скважины.

Ниже описано несколько предложений автора, еще не нашедших широкого применения в практике строительства, но представляющих определенный интерес.

*Методика и приборы для определения газопроницаемости*

*грунта при термическом укреплении.* Качество и продолжительность термической обработки грунта при его глубинном укреплении в значительной мере зависят от количества воздуха, фильтруемого через стенки скважины в окружающий грунт. При этом

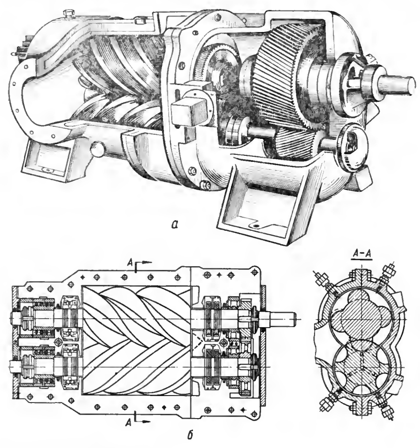



Рис. 39. Винтовой компрессор:
*а* — общий вид; *б* — разрезы.

газопроницаемость грунта по глубине скважины различна и зависит не только от газопроницаемости образцов грунта, отобранных на разной глубине, определяемой на специальных лабораторных приборах (например, прибор, разработанный в лаборатории оснований и фундаментов ЮжНИИ, и др.), но и от глубины скважины и температуры обжигаемого массива, что не может быть учтено при лабораторных испытаниях образцов грунта.

Опыт работы с различными лабораторными приборами показал, что испытанию на газопроницаемость подвергаются монолиты грунта не по действительному направлению прохождения газов в грунте вокруг термически обрабатываемой скважины (вначале — по горизонтали, а затем — по кривой, плавно направляемой кверху), а по случайным направлениям, часто не соответствующим действительности, особенно для просадочных лессовых грунтов с вертикально-столбчатой структурой и разня-

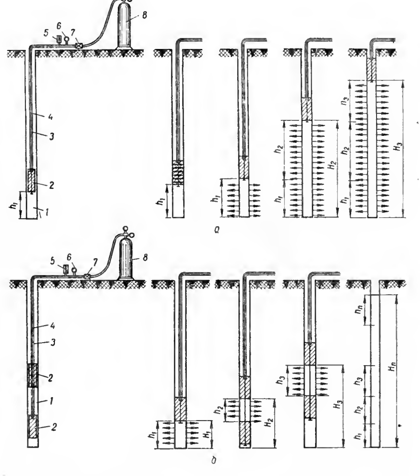


Рис. 40. Два варианта прибора для определения газопроницаемости грунта в скважинах (при термическом закреплении):

*а* — первый вариант; *б* — второй вариант; *1* — испытываемая зона скважины; *2* — воздушные затворы; *3, 4* — трубки; *5* — расходомер; *6* — манометр; *7* — переключатель сжатого воздуха; *8* — источник сжатого воздуха.

щейся в вертикальном и горизонтальном направлениях газопроницаемостью.

Исходя из изложенного, автором были предложены в 1963 г. способ и два варианта нового прибора, позволяющие более правильно определять фактические суммарные показатели газопроницаемости подлежащего термическому укреплению грунта на разной его глубине при разных давлениях.

Первый вариант этого прибора (рис. 40, *а*) состоит из трубок, размещаемых параллельно или одна в другой, воздушного затвора, представляющего собой мягкий раздувной баллон из воздухонепроницаемого и желательно жароупорного материала, источника сжатого воздуха (компрессора или баллона), переключателя сжатого воздуха, манометров, показывающих давление в воздушном затворе и в испытываемой зоне скважины и расходомера нагнетаемого воздуха.

Второй вариант предлагаемого прибора (рис. 40, *б*) отличается от первого наличием двух воздушных затворов, обеспечивающих практически надежную герметизацию испытываемых участков скважин не только сверху, как это предусматривается в первом варианте прибора, но и снизу.

Воздухопроницаемость отдельных участков скважин при разных давлениях нагнетаемого в них воздуха определяется прибором по первому варианту по следующей схеме:

1. В скважину *1* опускается воздушный затвор *2*, из которого предварительно удален воздух.

2. Через трубку *3* в воздушный затвор *2* нагнетается воздух, под действием которого затвор раздувается и осуществляет полную герметическую изоляцию испытываемого участка скважины *1* на участке $H_1=h_1$.

3. Через трубку *4* в испытываемый участок скважины *1* высотой $H_1=h_1$ нагнетается воздух и определяется воздухопроницаемость испытуемого участка скважины под разными давлениями (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 и т. д.) с определением суммарного показателя газопроницаемости грунта $K_{H_1}=K_{h_1}$ на этом участке скважины или удельного показателя газопроницаемости, т. е. приведенного к 1 *м* скважины на данной ее глубине.

4. Аналогичным путем проводят испытания на втором участке $H_2=h_1+h_2$ с определением суммарного показателя газопроницаемости на участке $H_2$, т. е. $K_{H_2}=K_{h_1}+K_{h_2}$, после чего можно определить показатель газопроницаемости на участке $h_2$ как разность этих показателей для участков $H_2$ и $h_1$ т. е. $K_{h_2}=K_{H_2}-K_{h_1}$.

5. Определяют суммарный показатель газопроницаемости на третьем участке $H_3=h_1+h_2+h_3=H_2+h_3$, для которого $K_{H_3}=K_{H_2}+K_{h_3}$. Показатель газопроницаемости $K_{h_3}$ для участка $h_3$ определяется аналогично предыдущему, т. е.

$$K_{h_3}=K_{H_3}-(K_{h_1}+K_{h_2}),\ \text{или}\ K_{h_3}=K_{H_3}-K_{H_2}.$$

6. Суммарный показатель газопроницаемости скважины по всей ее рабочей глубине $H_n = h_1 + h_2 + h_3 + \ldots + h_n$ определяется по результатам последнего этапа испытаний:

$$K_{H_n} = K_{h_1} + K_{h_2} + K_{h_3} + \ldots + K_{h_n}; \quad K_{h_n} = K_{H_n} - K_{H_{n-1}}.$$

Газопроницаемости отдельных участков скважины при разных давлениях нагнетаемого в них воздуха при помощи прибора по второму варианту определяются аналогичным путем (рис. 40, *б*).

Такое испытание следует производить как перед началом, так и в процессе и после окончания термической обработки скважин.

Применение рекомендуемого способа и приборов для его осуществления позволит более правильно устанавливать показатели воздухопроницаемости подлежащих термической обработке массивов грунта на разных его глубинах, а в зависимости от этого — принимать наиболее рациональную схему производства обжига грунта (обычную или зональную), что в значительной мере улучшит качество проектирования работ по термическому закреплению грунтов, а также качество получаемых результатов.

Предлагаемые способ и приборы для определения газопроницаемости, предназначенные для термического укрепления грунтов, отличаются возможностью производства послойных испытаний грунта непосредственно в скважинах путем нагнетания воздуха под разными заданными расчетом давлениями в отдельные по глубине участки скважин, ограниченные с одной или с двух сторон специальными герметическими затворами.

*О разжигании скважин.* При термическом укреплении грунтов разжигание скважин для ввода их на рабочий режим осуществляется по предложенному автором в 1947 г. способу предварительного нагревания жароупорных стенок камеры сгорания. При этом обработка грунтов раскаленными продуктами горения начинается с верхних его слоев.

В 1962 г. автором совместно с И. Д. Фальковым и В. П. Чернышовым были предложены способ и устройство, позволяющие разжигать скважины при термическом укреплении грунтов не только с верхней, но и в любой части скважин, в том числе и в ее забое. При этом возможен как общий, так и зональный обжиг с уширением книзу обожженных массивов, сроки разжигания скважин значительно сокращаются, технология производства работ упрощается.

При предлагаемом способе и устройстве скважина разжигается посредством нагревания ее участков или твердого топлива на любой глубине путем их интенсивного разогрева высокими температурами, возникающими при сжигании металла (отрезков металлических трубок или металлических стержней) в струе кислорода (рис. 41).

Приспособление для разжигания скважин состоит из направляющей трубки, на нижнем конце которой имеется зажим для съемных железных наконечников в виде металлических трубок или металлических стержней. Такое устройство присоединяется

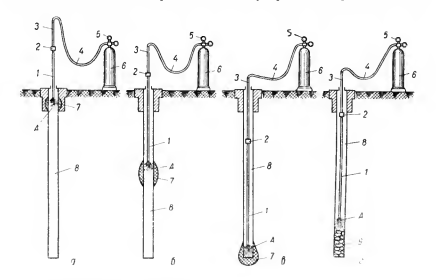



Рис. 41. Варианты разжигания скважины:

*а* — вверху скважины; *б* — посередине скважины; *в* — внизу скважины; *г* — разжигание твердого топлива; *1* — съемный железный наконечник; *2* — зажим; *3* — направляющая трубка; *4* — гибкий шланг; *5* — редуктор; *6* — баллон с кислородом; *7* — раскаленная зона; *8* — скважина; *9* — твердое топливо.

с помощью гибких шлангов через редуктор к баллону с кислородом.

Порядок разжигания заключается в следующем. Конец *А* съемного металлического наконечника предварительно разогревается до красного или белого каления, после чего через жароупорную трубку подают кислород, вызывающий горение металла. Затем это устройство опускают в скважину на заданную глубину. Под действием высокой температуры, возникающей при сгорании металла в кислороде, образуется раскаленная зона в устье, в стенках или в забое скважины, либо воспламеняется применяемое при обжиге грунтов твердое топливо.

Этот способ может сократить сроки процесса разжигания скважин, упростить технологию производства работ и производить как общий, так и зональный обжиг грунта.

*Передвижное устройство для обжига на разных глубинах.* В настоящее время при термическом укреплении грунтов обычно применяют жидкое и газообразное топливо. Применение твердого топлива для сжигания в герметически закрытых скважинах

и выработках до 1963 г. практически не имело места, так как отсутствовали для этого соответствующие устройства.

Предложенное группой авторов * в 1963 г. устройство (рис. 42) для термического укрепления грунтов в скважинах или иных

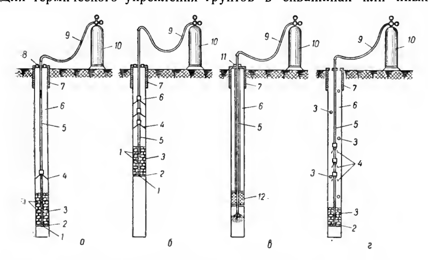


Рис. 42. Варианты зонального обжига грунта твердым (*а, б*), жидким или газообразным (*в*) топливом и загрузка твердого топлива (*г*):

*1* — выводные отверстия в нижней части жароупорной трубы; *2* — колосниковая решетка; *3* — твердое топливо; *4* — раздвижная жароупорная диафрагма; *5* — подвеска из жароупорной трубы; *6* — скважина; *7* — затвор; *8* — загрузочный люк; *9* — гибкий шланг; *10* — источник сжатого воздуха; *11* — натяжное устройство; *12* — жароизолирующий материал.

выработках, позволяющее применять не только жидкое и газообразное, но и твердое топливо, представляет собой передвижную по глубине скважины камеру сгорания, позволяющую обжигать грунт на любом участке скважины. Это устройство состоит из затвора с загрузочными люками, подвески из жароупорной трубы с колосниковой решеткой, на которую загружается твердое топливо (или сжигается жидкое или газообразное топливо), и одной или нескольких регулируемых раздвижных жароупорных диафрагм, размещаемых на любой глубине скважины над источником ее нагрева.

Раздвижные жароупорные диафрагмы или дистанционно регулируемые обжатием в процессе обжига жаростойкие и жароизолирующие материалы герметически закрывают верхнюю часть камеры сгорания от верхней части скважины. Применение передвижных по глубине скважины герметически закрытых сверху камер сгорания позволяет обеспечить заданный по размерам

* И. М. Литвинов, И. Д. Фальков и В. П. Чернышов.

зональный обжиг скважины на любой ее глубине. Такие регулируемые раздвижные диафрагмы, а также дистанционно регулируемые в процессе обжига степенью уплотнения жароустойчивые материалы путем затягивания с поверхности при помощи натяжного устройства могут применяться и при обжиге скважин жидким или газообразным топливом.

После разжигания топлива (любым из известных способов) горение поддерживается за счет подачи воздуха под давлением от источников сжатого воздуха по гибкому шлангу и жароупорной трубе через специальные выводные отверстия, размещенные в нижней части жароупорной трубы-подвески.

Твердое топливо загружают в скважину на колосниковую решетку через загрузочные люки при открытых диафрагмах как до начала, так и в процессе обжига.

При применении жидкого или газообразного топлива форсунки для его сжигания устанавливают в верхней части передвижной камеры сгорания, непосредственно под нижней регулируемой раздвижной диафрагмой, также дистанционно регулируемой обжатием в процессе обжига на разных глубинах в герметически закрытых сверху скважинах.

*О применении твердого топлива.* В 1963 г. на экспериментальной площадке одного из коксохимических заводов Днепропетровщины по предложению и под руководством автора научными сотрудниками ЮжНИИ И. Д. Фальковым и В. П. Чернышовым были проведены экспериментально-исследовательские работы по применению твердого топлива для термического укрепления просадочных лессовых грунтов в герметически закрытых сверху скважинах диаметром 40—50 *см*.

Целью этих работ являлась разработка технологии и оборудования по применению твердого топлива при термическом укреплении грунтов и выявление его технической и экономической целесообразности, что значительно расширит область применения термического метода в строительстве.

Твердое топливо применялось впервые, поэтому пришлось изготовить специальное оборудование и разработать технологию производства работ. Горение твердого топлива в герметически закрытой скважине без применения добавок ставилось под сомнение, как и горение в таких условиях жидкого и газообразного топлива.

В качестве твердого топлива был применен кокс с высокой теплотворной способностью, обладающий свойством почти полного сгорания с отсутствием шлакования. Теплотворная способность кокса составляла 7000 *ккал/кг*. Для обжига 1 $м^3$ грунта по предварительному расчету требовалось 50 *кг* кокса, а на весь укрепляемый массив грунта объемом 25 $м^3$ — 1250 *кг*.

Обжиг опытной скважины начали 16/VII 1963 г. Эксперимент был закончен 26/VII 1963 г. В течение опыта всего было сожжено

1295 *кг* кокса. Время, затраченное на обжиг экспериментальной скважины, составило 232 *ч*. В среднем за 1 *ч* в 6-метровой скважине сжигалось 5 *кг* кокса, а в течение суток — 120 *кг*.

Порядок эксперимента был следующий. Вначале разогрели кокс, загруженный на решетку камеры сгорания, расположенной на глубине 6 *м*, после чего обжигали грунт в этой скважине за счет нагнетаемого воздуха и досыпки по мере надобности топлива (сжигаемого в процессе обжига) через загрузочные люки в затворе.

В результате термической обработки просадочного лессового грунта твердым топливом был обожжен массив по форме очень близкой к цилиндрической со средним диаметром обожженной зоны 1,8 *м* *, распространенной от поверхности площадки до заданной экспериментом глубины (6 *м*), на которую был опущен источник горения кокса.

Проведенные экспериментальные работы показали возможность сжигания твердого топлива на любой глубине герметически закрытых сверху скважин, что позволяет в случае необходимости применять твердое топливо при глубинном термическом укреплении просадочных лессовых грунтов. Стоимость 1 $м^3$ термически закрепленного твердым топливом грунта, даже при применявшихся несовершенных конструкциях оборудования и технологии производства работ, превышала стоимость обжига жидким топливом или коксовым газом всего на 2—19%, что свидетельствует о возможной рентабельности применения твердого топлива.

Полученное при эксперименте небольшое превышение стоимости применения твердого топлива следует отнести, главным образом, за счет несовершенных деталей внутренней части затвора и других устранимых причин. Поэтому необходимо доработать конструкцию затвора с повышением степени его инвентарности путем применения специальной жароустойчивой стали, а также улучшить технологию сжигания твердого топлива в камере сгорания с одновременным понижением температуры образующихся горячих газов в скважине путем увеличения подачи в затвор воздуха (как при применении жидкого и газообразного топлива).

*Затвор с дистанционной регулировкой уплотнения жаростойкого сальника при обжиге на заданной глубине.* В 1962 г. по предложению и под руководством автора И. Д. Фальков и В. П. Чернышов (ЮжНИИ) провели опытный обжиг просадочных лессовых грунтов на экспериментальной площадке в г. Баглей с применением разработанного нами затвора, предназначенного для сжигания газообразного топлива в скважине на глубине ниже 4 *м* от поверхности грунта.

---

* По предварительным расчетам предполагалось получить диаметр обожженной зоны 2,3 *м*.

Для этой цели был сконструирован и изготовлен затвор с дистанционной регулировкой натяжения жаростойкого асбестового уплотняющего сальника, установленного на глубине 4 *м* (рис. 43). Затвор состоял из внутренней жароупорной трубы, средней трубы, предназначенной для упора при обжатии жаростойкого сальника и короткой наружной трубы, плотно забитой в верхнюю часть скважины. К ней при помощи фланца на асбестовых прокладках крепилась болтами верхняя часть затвора с металлической камерой сгорания. Асбестовый шнур навивался на нижний конец жароупорной трубы между двумя конусными дисками, приваренными на концах труб.

Сальник во время установки и в процессе обжига обжимался с поверхности при помощи затягивания чугунной гайкой по нарезке на жароупорной трубе, в результате чего конусные диски, расположенные на концах уплотняющего сальника, сближались, и жаростойкая сальниковая навивка плотно прижималась к стенке скважины.

Верхняя часть затвора с металлической камерой являлась промежуточным звеном и служила для разогрева скважины и вывода ее на нормальный режим. Топливо сжигалось ниже затвора, вызывая термическое закрепление грунта в скважине, начиная с глубины 4 *м* и ниже.

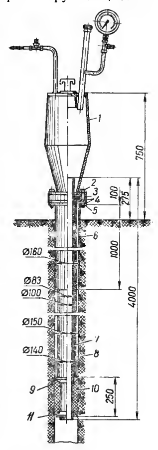



Рис. 43. Металлический затвор для зонального обжига:

*1* — металлическая камера сгорания в затворе; *2* — болт; *3* — чугунная гайка; *4, 5* — асбестовые прокладки; *6* — короткая наружная труба; *7* — внутренняя жароупорная труба; *8* — средняя труба; *9, 11* — конусные диски; *10* — асбестовый шнур.

За время проведенного в течение 225 *ч* (9,4 суток) экспериментального обжига с установленным в скважине регулируемым дистанционным затвором при избыточном давлении 0,3—0,15 *ати* фильтрации вверх раскаленных газов через скважину и окружающий ее грунт не наблюдалось.

При осмотре вынутого из обожженной скважины дистанционного затвора не было обнаружено каких-либо повреждений, кроме незначительной окалины на средней трубе (изготовленной из обычной, не жароупорной стали). Это свидетельствует о том,

что затвор может являться инвентарным, т. е. пригодным для многократного использования и применяться в случаях, когда требуется закреплять грунт на определенной глубине и не допускать фильтрации раскаленных газов на дневную поверхность. Затвор с дистанционной регулировкой натяжения уплотняющего жаростойкого сальника является перспективным для обжига на любых глубинах термически укрепленных массивов с возможным расширением их нижних зон до заранее заданных размеров.

Следует отметить, что упрощенные опытные экземпляры аналогичных затворов применялись нами в институте ЮжНИИ при проведении экспериментальных работ в 1956 г. При этом ставилась задача отказаться от очень дорогих жаростойких труб и продлить время эксплуатации обычных стальных труб-регуляторов путем покрытия их различными огнестойкими обмазками с испытанием их в натуре при разных режимах термического воздействия. Одной из главных задач технологии сжигания топлива на заданной глубине является обеспечение герметизации верхней необжигаемой части скважины, расположенной выше зоны термической ее обработки, с целью преграждения фильтрации раскаленных газов в верхние зоны необжигаемого грунта и выхода их на дневную поверхность.

Затворы аналогичных и улучшенных конструкций затем разработал и применил О. А. Касперский (Фундаментпроект).

Применяемые ранее для этой цели затворы в виде трубы с обвивкой ее асбестовым шнуром, которая плотно забивается в обжигаемые скважины, вначале недостаточно удовлетворяли требования производства работ, так как в процессе обжига и вызываемой им усадки грунта между сальником и стенкой скважины образуется щель, через которую поток раскаленных газов устремляется вверх. Это в рекомендуемом автором затворе исключается за счет дистанционной регулировки степени натяжения уплотняющего жаростойкого сальника в процессе обжига. Последние конструкции затворов Фундаментпроекта являются более удачными. О. А. Касперский осуществил термическое закрепление столба грунта диаметром до 9 *м* из одной скважины.

И. М. Тюрин (Хабаровск) провел интересные исследования и успешное применение термического укрепления в железнодорожном строительстве и укреплении слабых откосов.

В заключение следует отметить, что описываемый второй способ термического метода закрепления просадочных лессовых и слабых глинистых грунтов весьма перспективен, рекомендуется официальными нормативами, успешно применяется при строительстве ответственных зданий и сооружений и особенно при восстановлении аварийных, деформировавшихся при неравномерных осадках фундаментов. Предложенный и разработанный ав-

тором второй способ также применяется во многих демократических (Чехословакия, Венгрия, Румыния, Болгария, ГДР и др.) и капиталистических (США, Англия, Франция, Индия, Япония и др.) странах. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование и снижение стоимости этого метода, что в значительной мере расширит области его применения.

**Ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и энергией взрывов.** Наиболее экономичным способом уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности является предварительное замачивание. Этот способ (рис. 44, *а*) давно

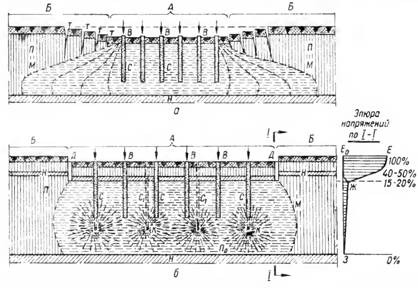



Рис. 44. Характер деформаций грунта при глубинном уплотнении просадочных грунтов замачиванием обычным способом (*а*) и схема ускоренного глубинного уплотнения просадочных грунтов рекомендуемым автором способом (*б*):

*А* — уплотняемый участок; *Б* — неуплотняемые грунты; *П* — просадочный грунт в незамоченной зоне; $П_0$ — просадочный грунт в замоченной зоне; *Д* — контурные траншеи; *С* — дренажные скважины; $С_1$ — взрывные скважины; *К* — заряды взрывчатого вещества; *В* — вода; *М* — граница зоны замоченного грунта; *Т* — трещины в грунте; *Н* — непросадочный грунт.

известен, особенно из практики его применения в ирригационном строительстве. По инициативе НИИ оснований предварительное замачивание начали применять в жилищном и промышленном строительстве. Однако этот способ, весьма перспективный для строительства в новых районах и на площадках, удаленных от уже построенных зданий, все же имеет ограниченные возможности, так как практически недопустим для применения вблизи застроенных участков. Вследствие неизбежного после-

дующего распространения зоны увлажнения на окружающие незамоченные массивы грунта могут иметь место значительные повреждения и деформации близко расположенных зданий и сооружений, ранее возведенных на незамоченных просадочных лессовых грунтах. Кроме того, процесс стабилизации осадок грунта от самоуплотнения замоченной просадочной толщи обычно происходит на протяжении длительного времени и не является полноценным, так как при дополнительном приложении нагрузок неизбежны дополнительные уплотнения грунтов.

С целью ускорения работ по замачиванию просадочного лессового грунта замачиваемые котлованы иногда углубляют дренажными скважинами *С*, образуемыми различными способами, а затем котлованы заливают водой до полного насыщения всей замачиваемой просадочной толщи (до непросадочного грунта). В результате вызываемого этим самоуплотнения глубинной толщи грунта поверхность его понижается (в Украинской ССР понижение достигает 1500, а в некоторых местах и до 2000 *мм*) с образованием окружающих просадки параллельных или концентрических трещин *Т* в грунте (глубиной до 7, шириной до 0,3 и с вертикальными сбросами до 0,15 *м*). Последующее распространение влажности грунта *М* вокруг замоченной площадки способствует более интенсивному проявлению дополнительных осадок зданий и сооружений, возведенных вблизи замачиваемого участка, чему способствуют даже относительно небольшие дополнительные увлажнения, являющиеся неопасными в обычных условиях при отсутствии замоченного грунта.

Предложенный и разработанный автором способ ускоренного глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и энергией взрывов * позволяет в значительной мере снижать вредное влияние замачиваемого участка на окружающие просадочные грунты с построенными на них зданиями, в десятки раз ускорять процессы уплотнения, доводя их до плотности в несколько раз большей, чем при обычном способе, уплотняя при этом только требуемые проектом участки (рис. 44, *б*). Это достигается благодаря тому, что вместо возникающих в грунте при обычном методе предварительного замачивания многочисленных наклонно-ступенчатых террасообразных перепадов с рядом параллельных или концентрических трещин заранее создаются по контуру уплотняемого участка строго фиксируемые проектом осадочные швы из узких вертикальных траншей (шириной 0,2—0,4 и глубиной до 4—6 *м*), устраняющие силы связи между верхними зонами грунтов замачиваемых и незамачиваемых участков. Для ускорения процесса уплотнения и повышения степени плотности в замоченной толще

---

* См. авторское свидетельство на изобретение № 183131, выданное в 1966 г. с приоритетом от 5 апреля 1963 г.

уплотняемого грунта производят глубинные взрывы после достижения грунтом влажности, превышающей предел текучести. Взрывы, передающие резкие гидродинамические воздействия на приведенный в неустойчивое состояние грунт, еще обладающий просадочными свойствами, но уже ослабленный водой (до текучей консистенции), вызывают его интенсивное уплотнение, сопровождающееся резким понижением поверхности грунта с очень быстро затухающим процессом уплотнения замоченного массива. При этом в местах взрывов камуфлетных уширений не образуется.

Из приведенного на рис. 44, *б* разреза I—I видно, что эпюра вертикальных сдвигающих усилий в грунте по сечению I—I при отсутствии контурной траншеи *Д* описывается кривой *ЕЖЗ*, а при наличии траншеи *Д* — кривой $Е_0ЖЗ$, т. е. уплотняемый участок будет иметь возможность свободно перемещаться вниз по сечению I—I ввиду отсутствия сил связи между грунтами замачиваемого *А* и незамачиваемых *Б* участков. После того, как граница замачивания *М* подойдет к нижней части контурной траншеи и к подошве залегания просадочного грунта, необходимо сразу произвести глубинные взрывы *К* в специально изготовляемых взрывных скважинах $С_1$.

Если при уплотнении просадочных грунтов обычным предварительным замачиванием влажность в грунте распространяется в горизонтальном направлении на величину $(2{,}5 \div 4)h$, где $h$ — глубина замачиваемой толщи грунта $П_0$, то при данном способе эта величина не превышает $(0{,}5 \div 1)h$. При данном способе требуется значительно меньше воды, а динамический фактор во много раз ускоряет процесс уплотнения.

В случаях, когда просадочные грунты большой мощности необходимо уплотнять в застроенных районах, где требуется максимально сократить распространение воды вокруг уплотняемых участков за пределами контурных траншей, автор рекомендует * изготовлять местные водозащитные экраны со стороны близко расположенных зданий или сооружений. Такие экраны можно изготовлять несложным путем из уплотненного грунта (например из двух рядов грунтонабивных свай), учитывая, что они предназначаются только на небольшой период времени, в течение которого происходит понижение уровня воды от замачивания на уплотняемом участке. Можно также применять глиняные или бетонные экраны в зависимости от местных условий и наличия соответствующих механизмов для их изготовления.

Уплотнение просадочных грунтов с применением обычного способа предварительного замачивания происходит под воздействием только собственного веса грунта при его увлажнении. При этом достигается достаточно эффективное уплотнение грунта

---

* Заявка № 1179326/29-14 от 31 июля 1967 г.

только в слоях, залегающих ниже определенной глубины. Эта глубина определяется минимальной величиной давления, называемого «начальным давлением», при котором проявляются просадочные свойства грунта.

Верхний слой грунта, в котором давление от собственного веса недостаточно для проявления его просадочных свойств или полного уплотнения, при дополнительных нагрузках может вызвать просадку фундаментов. Поэтому применение обычного способа предварительного замачивания, согласно инструкции НИИ оснований, должно комбинироваться с другими методами, направленными на устранение просадочных свойств в пределах верхнего, недостаточно уплотнившегося слоя грунта.

Просадочные грунты уплотняют обычным методом предварительного замачивания, как правило, на вновь застраиваемых участках. При этом основания расположенных поблизости существующих зданий и сооружений должны быть предохранены от возможного замачивания. С этой целью расстояние от них до замачиваемой площадки должно быть не менее трехкратной толщины слоя просадочных грунтов при наличии водоупора (по нормативам).

При применении рекомендуемого автором способа ускоренного уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и энергией взрывов динамические воздействия на грунт вызывают уплотнение также верхних слоев грунта, в результате чего их дополнительное уплотнение в большинстве случаев может быть исключено на основе данных соответствующей проверки плотности верхних слоев грунта после его глубинного уплотнения.

Устранение сил связи в грунте верхней части вертикальных плоскостей между замачиваемыми и незамачиваемыми массивами за счет контурных траншей и производство глубинных взрывов в грунте, влажность которого превышает предел текучести, позволяют: значительно ускорять процессы уплотнения и повышать его надежность; создавать точно фиксируемые в плане основные осадочные швы, заменяющие или значительно уменьшающие количество произвольно образующихся трещин в грунте; ограничивать зоны просадки грунта в заданных габаритах, обеспечивая не менее 90—95% (до 100%) осадок поверхности грунта на заданном в плане уплотняемом участке.

Экспериментальная проверка рекомендуемого нового ускоренного способа, проведенная в натурных производственных условиях, полностью подтвердила принципиальную правильность рабочей гипотезы и теоретических предпосылок, положенных в основу этого способа уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности, а также его высокую эффективность, надежность и экономичность, в результате чего этот способ включается в общесоюзные нормативные документы.

После успешного проведения в 1964—1965 гг. полупроизводственных экспериментальных исследований в 1967 г. под руководством автора этот способ был впервые применен при строительстве 120-квартирного крупнопанельного дома в г. Запорожье в условиях большой мощности просадочных лессовых грунтов, залегающих на глубину до 20 *м*.

Несмотря на большие трудности и сложности в проведении работ, вызванные тем, что уплотняемый участок находился в центре застроенного района, все же были получены положительные результаты. Например, в течение коротких сроков (за 8 суток) были проведены работы по уплотнению первого участка площадью 760 $м^2$ (при этом непосредственно замачивание производилось 6,5 суток, а взрывные работы — 6 *ч*). Еще в более короткие сроки и с меньшими расходами воды было проведено аналогичное уплотнение на втором и третьем участках.

Всего за 3 приема (захватки) был уплотнен участок размерами 17×132 *м* в плане (площадью 2244 $м^2$). Расходы воды, потребляемой на 1 $м^2$ уплотняемой площадки, составляли 7—4 $м^3$, или в среднем 5,8 $м^3$. Полезное время, затрачиваемое на замачивание каждой из трех захваток, составляло 6—5 суток, причем оно может быть значительно сокращено. На производство взрывных работ затрачивалось 6—4 *ч*. Вообще этот участок мог быть весь одновременно уплотнен за 6—7 суток.

По проекту уплотнение грунта путем просадки его поверхности было необходимо на величину до 45—50 *см*, как это ожидалось по прогнозу Запорожской экспедиции ХарьковГИИНТИЗа и на опыте других организаций, что фактически имело место при обычном способе замачивания, выполненном под руководством НИИ оснований, при строительстве экспериментального дома № 27 в этом же районе, где расход воды на 1 $м^2$ площадки составил 18,6 $м^3$. При ускоренном же способе, где расход воды в 3,2 раза меньший, фактически было получено уплотнение грунта в 2—2,5 раза большее с просадкой поверхности грунта на величину 100—125 *см* равномерной по всей длине участка протяженностью 132 *м* и с резко выраженным перепадом на 120—125 *см* со стороны дома № 6, строящегося на расстоянии 10 *м* от замачиваемого участка, защищенного несложно изготовленным водозащитным экраном из уплотненного грунта.

В процессе производства взрывных работ были выполнены исследования по сейсмическому воздействию разных по величине и характеру взрывов на уплотняемые грунты и окружающие здания и сооружения с целью предварительного установления: оптимальных весов взрываемых зарядов; возможности применения групповых взрывов с миллисекундным замедлением; определения времени замедления между взрывами отдельных зарядов; схем взрывания и безопасных расстояний от мест взрывов до охраняемых зданий.

Производственное освоение этого способа на реальном объекте строительства показало высокую экономическую эффективность такого уплотнения, его индустриальность, малую трудоемкость, надежность уплотнения и возможность быстрого производства работ. При этом следует отметить, что как уплотнение мощной просадочной толщи лессовых грунтов по всему строительному участку (на глубину до 20 *м* с объемом уплотненного грунта около 45 тыс. $м^3$), так и строительство дома было начато в июне и полностью закончено в ноябре 1967 г.

Проведение такого производственного опыта в условиях сплошной заселенной городской застройки и соответствующие исследования показали, что этот способ является одним из наименее трудоемких, наиболее экономичных и весьма перспективных для устранения просадочности лессовых грунтов большой мощности.

В результате применения разрабатываемого способа только на одной площадке строительства большого крупнопанельного дома в Запорожье был получен экономический эффект в сумме 105000 руб. Таким образом, применение этого способа только в Украинской ССР позволит снизить трудовые затраты на устройство фундаментов в сложных грунтовых условиях и сберечь государству миллионы рублей. Примерная стоимость 1 $м^3$ уплотненного грунта составляет 40—60 коп.

Более подробные сведения о результатах экспериментально-исследовательских работ, проводимых при проверке этого способа в производственных условиях в 1964—1965 гг., и по опыту применения его на строительстве крупнопанельного дома в 1967 г. приведены в следующей главе.

Рекомендации для проектных и строительных организаций по применению этого способа в строительстве приведены в приложении 1.

**Способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и направленными вибрациями.** Из советской и зарубежной литературы известно несколько способов и устройств, в которых используют вибрацию для уплотнения различных и в том числе просадочных лессовых грунтов.

В частности, известны предложения по уплотнению предварительно замоченных просадочных лессовых грунтов при помощи различных типов мощных самоходных вибромашин, неоднократно пропускаемых по поверхности уплотняемых участков. Однако такие машины применяются только для поверхностного уплотнения грунтов. При глубинном уплотнении для получения ожидаемого эффекта потребовались бы очень мощные машины весом в десятки тонн, так как иначе нельзя рассчитывать на эффективность уплотнения грунта на больших глубинах.

Кроме аналогичных или других также неосуществленных предложений по глубинному уплотнению просадочных лессовых грун-

тов, известны предложения, уже осуществленных в натуре, по которым проводились интересные экспериментальные работы. Например, в Приднепровье проверялось уплотнение просадочных грунтов при помощи погружаемых в их толщу специальных вибробулав, равномерно уплотнявших грунт на небольшом радиусе действия.

Способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов с применением предварительного замачивания и направленных вибраций, предложенный автором *, позволяет уплотнять или повышать степень плотности грунта не непосредственно под или вокруг вибрирующего устройства, а только в необходимом, заранее заданном боковом направлении за счет направленных вибрационных воздействий на уплотняемый грунт, ослабленный доведением его до текучей консистенции, но еще обладающий просадочными свойствами. Это делается при помощи специальных устройств в виде узких плоскостных виброштампов бокового направленного действия, нижняя поверхность которых скошена под углом 30—60° в сторону уплотняемого массива, ограниченного габаритами контурных траншей (рис. 45), изготовляемых этими плоскостными вибропогружателями после предварительного замачивания подлежащего уплотнению участка.

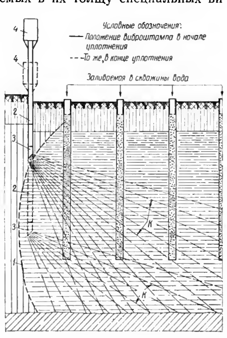


Рис. 45. Схема уплотнения просадочного лессового грунта предварительным замачиванием и направленными вибрациями:
*1* — граница зоны замачивания; *2* — стойка плоскостного виброштампа направленного действия; *3* — рабочая часть виброштампа (скошенная под углом α), направляющая поток вибраций в заданном направлении *К*; *4* — мощный вибропогружатель.

В процессе вибропогружения плоскостного виброштампа передаваемый через его рабочую, скошенную под углом $\alpha$, поверхность мощный поток вибраций в заданном направлении $K$ вызывает в этой зоне интенсивное зональное уплотнение просадочной толщи лессового грунта, ослабленного водой. При этом грунт уплотняется преимущественно в той зоне, на которую направлен поток вибраций. Направление потока вибраций $K$ можно изме-

* Заявка № 1034372/29-14 от 15 октября 1965 г.

нять в зависимости от угла наклона $\alpha$ рабочей плоскости и от ее формы, которая может изменяться в широких пределах — от плоской в двух направлениях до выпуклой также в двух направлениях, но с соблюдением общего наклона рабочей (направляющей) части под углом $\alpha$ в сторону направляемых вибраций.

С целью обеспечения заданной направленности виброуплотнителя при погружении к верхней его части прикладывается сила (горизонтальная или наклонная) в виде растяжки, упора или другого устройства, удерживающая вибропогружатель в заданном направлении.

Для уменьшения влияния ненаправленных вибраций на грунт боковые поверхности плоскостных виброуплотнителей изготовляют с минимально возможным сцеплением и трением с окружающим грунтом за счет создания гладких поверхностей из основного материала (например железобетона) или за счет окрашивания, покрытия этих поверхностей соответствующими красками, составами, пластиками или другими материалами, обладающими гладкими скользящими или гидрофобными свойствами, или за счет покрытия их листовым металлом, к которому подключаются отрицательные полюсы источников постоянного тока, вызывающего появление на этих поверхностях тонких слоев воды (за счет возникаемого при этом явления электроосмоса), дополнительно снижающих величину сцепления и трения между боковыми поверхностями виброуплотнителей и окружающим грунтом.

Кроме того, с целью снижения мощности виброуплотнителей, принимаемые частоты колебаний направленных вибраций должны приближаться или соответствовать собственным колебаниям укрепляемого грунта, что будет способствовать возбуждению в последнем резонанса, вызывающего более интенсивное уплотнение при значительно меньших мощностях источников вибраций.

Таким образом, предлагаемый способ заключается в применении для уплотнения предварительно замоченного до текучей консистенции массива лессового грунта сконцентрированных только в одном направлении мощных пучков (потоков) направленных колебаний, соответствующих или приближающихся к собственным колебаниям укрепляемого грунта. При этом направленный поток непрерывно действует, перемещается в заданном направлении с заданной расчетной скоростью (что осуществляется при помощи соответствующего устройства) и вызывает последовательное послойное (а не общее, одновременное, как это имеет место при применении взрывов) уплотнение только в период его прохождения через последовательно укрепляемые слои грунта. Известные способы и устройства для уплотнения различных и в том числе просадочных лессовых грунтов с помощью вибраций, которые, не являясь направленными, быстро

затухают и поэтому уплотняют грунт в относительно меньшем радиусе действия, чем рекомендуемые автором пучки направленных вибраций. Подтверждением этого является применение лазера, где из-за направленности получился совершенно новый результат. Следует отметить, что при взрывной передаче даже резонирующих колебаний эти колебания являются весьма кратковременными (исчисляются долями секунды). Вызываемые взрывами волны вибрации распространяются одновременно во все стороны и очень быстро затухают.

По предлагаемому способу направленный пучок вибраций является не кратковременным, а постоянно действующим на протяжении необходимого для уплотнения отрезка времени, чем существенно отличается от других известных способов применения вибраций и взрывов (например, для уплотнения насыпных земляных сооружений при помощи взрывов и др.).

**Способ принудительного (напорного) зонального замачивания просадочных лессовых грунтов большой мощности при их глубинном уплотнении.** При ускоренном способе глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием с применением контурных траншей и глубинных взрывов в грунте, увлажненном до состояния текучей консистенции, а также при обычном способе уплотнения замачиванием изготовляют дренажные скважины с последующим заполнением их дренажным материалом (шлаком, чистым песком и др.), а затем через них заливают воду в уплотняемый грунт.

В предложенном автором совместно с А. А. Акимовым способе * принудительного зонального замачивания просадочных лессовых грунтов большой мощности при их ускоренном глубинном уплотнении по авторскому свидетельству № 183131 замачивание производится не через дренажные скважины, а под давлением через инвентарные инъекторы, погружаемые в грунт на заданные глубины.

Подлежащая уплотнению площадка, ограниченная прорезями контурных траншей, разбивается на отдельные участки (захватки). На каждом участке намечаются места забивки инъекторов и места для установки взрывчатого вещества.

Инъекторы состоят из перфорированных звеньев в нижней части и глухих звеньев, изготовленных из цельнотянутых труб диаметром 25—42 *мм* в верхней части. В перфорированной части делаются отверстия диаметром 3 *мм*. Длина звена перфорированной части 1—1,5 *м*. Инъекторы забивают в толщу грунта бетоноломом (перфоратором) весом более 16 *кг* или легким копром, не доходя до нижней границы просадочной толщи на 2—4 *м*. Воду нагнетают через группу инъекторов насосами при давлении до 4 *атм* по заходкам снизу вверх. Общий расход воды на

* Заявка № 1084013/29-14 от 9 июня 1966 г.

замачивание грунта определяется из расчета заполнения пор водой в уплотняемых зонах грунта на 90—100% с учетом природной влажности.

Расстояние между инъекторами зависит от фильтрационных свойств грунта и может приниматься в пределах 2—3 *м*.

После нагнетания расчетного количества воды в нижнюю заходку инъекторы поднимают для следующей заходки на 1,5 $l$, где $l$ — длина перфорированной части инъектора в *м*, и вновь накачивают воду. Это повторяют несколько раз, не доходя до поверхности на 2—4 *м* от верха перфорированного звена. По окончании замачивания грунта на данном участке в намеченные проектом места укладывают взрывчатое вещество, производят глубинные взрывы, а затем переходят к аналогичному уплотнению на следующем смежном участке.

При обычном способе замачивания воду подают сверху вниз при естественной фильтрации, в результате чего наибольшему воздействию воды подвергаются мало уплотняющиеся при замачивании верхние слои грунта при значительном количестве затрачиваемой воды.

По предлагаемому способу замачивание производят снизу вверх при принудительном нагнетании воды под избыточным к атмосферному давлении через погружаемые в грунт на заданные глубины инвентарные инъекторы. При этом замачивают только подлежащую уплотнению просадочную толщу грунта, т. е. расходуется минимальное расчетное количество воды. Таким образом, при предлагаемом способе максимальному воздействию воды подвергаются наиболее подверженные просадке нижние слои просадочной толщи, что в значительной мере может способствовать ускорению процесса просадки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ УСКОРЕННОГО СПОСОБА ГЛУБИННОГО УПЛОТНЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ЗАМАЧИВАНИЕМ И ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВОВ

### Результаты экспериментально-исследовательской проверки на опытном участке

С целью сопоставления обычного способа уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и предлагаемого нового ускоренного, а также для принципиальной проверки рабочей гипотезы, заложенной в основу нового способа, в Запорожье были выделены две равноценные в геологическом отношении площадки в районе застройки Космического шоссе, где и были применены оба способа. Проверка производилась в натурных производственных условиях. Условия залегания просадочных лессовых грунтов на обеих площадках были одинаковы, а общая толща просадочных напластований распространялась до глубины 20 *м* от поверхности.

На первой площадке размером 16×111,5 *м*, предназначенной для строительства крупнопанельного дома № 27 в 1962—1964 гг., был уплотнен просадочный грунт экспериментальным замачиванием по обычной методике под руководством НИИ оснований.

На второй площадке размерами 65×65 *м* в плане НИИСКом * и Минстроем УССР ** в 1964 г. был проверен рекомендуемый автором ускоренный способ. Непосредственно замачиваемый участок имел размеры 27×27,5 *м*, или примерно 750 $м^2$. Просадочные лессовые грунты на обеих площадках были одинаковы по свойствам и условиям залегания.

По данным скважины, пройденной бурением на глубину 25 *м*, геологическое строение экспериментального участка с показателями пластичности и влажности разведанных грунтов по состоянию на май 1964 г. характеризовались данными, приведенными в табл. 7.

Природная влажность во всех пройденных напластованиях грунта колебалась от 4,8 до 16,9%. Грунтовые воды до глубины 25 *м* бурением не были обнаружены.

Дренажные скважины в количестве 64 шт. диаметром 0,4 *м* и глубиной 11,4 *м* размещались на опытном участке по сетке

* И. М. Литвинов, Р. А. Иваненко, Л. С. Инжир, Л. М. Селезнева, И. Б. Маслобоев.

** Г. К. Лубенец, В. С. Посяда, Н. М. Федосенко, А. М. Звенигородский, И. Я. Светлов, Г. С. Таций, Е. А. Томилин и др.

Таблица 7. Характеристика грунтов экспериментального участка

| Глубина, *м* | Мощность, *м* | Грунт | Граница текучести | Граница раскатывания | Число пластичности |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | проц. | | |
| От поверхности до 0,5 | 0,5 | Почвенно-растительный слой | — | — | — |
| До 2,5 | 2,0 | Суглинки лессовидные легкие желто-серые и желтые известковистые с ходами землероев, заполненными гумусированным грунтом | 27—29 | 18—19 | 9—10 |
| „ 3,7 | 1,2 | Лессы палево-желтые | 22,8 | 19,0 | 3,8 |
| „ 4,8 | 1,1 | Суглинки лессовидные легкие известковистые | 29,8 | 19,4 | 10,4 |
| „ 5,9 | 1,1 | Суглинки красновато-бурые тяжелые плотные | 33,8 | 19,6 | 14,2 |
| „ 6,7 | 0,8 | Суглинки желто-бурые лессовидные средние | 29,1 | 16,6 | 12,5 |
| „ 14,5 | 7,8 | Лессы палево-желтые | 21,8—25,1 | 17,1—21,6 | 3,5—5,0 |
| „ 15,7 | 1,2 | Суглинки желтые лессовидные | 24,8 | 18,4 | 6,4 |
| „ 16,8 | 1,1 | Суглинки красно-бурые тяжелые плотные | 37,5 | 19,6 | 17,9 |
| „ 17,9 | 1,1 | Суглинки желто-бурые лессовидные средние | 25,3 | 14,7 | 10,6 |
| „ 20,2 | 2,3 | Лессы палево-желтые | 27,6 | 19,9 | 7,7 |
| „ 20,8 | 0,6 | Суглинки желто-бурые лессовидные | 30,4 | 17,2 | 13,2 |
| 25 и ниже | Разведано 4,2 | Глины красновато-бурые тяжелые | 42,1 | 20,7 | 21,4 |

с шагом 3×3 *м* (рис. 46). Для защиты от размывания верхних частей дренажных скважин устанавливались инвентарные металлические оголовники, изготовленные из отрезков металлических труб диаметром 0,4 *м* и длиной 0,5 *м* с приваренными опорными лапами для опирания на поверхность земли.

После изготовления дренажных скважин замачиваемый участок предусматривалось отрезать от незамачиваемого массива узкими прорезями в грунте шириной 0,2 и глубиной до 6 *м*, из которых две прорези (*I* и *II*) намечалось оставить открытыми, а две (*III* и *IV*) — засыпать рыхлым грунтом. Для изготовления прорезей намечалось использовать цепные бары при соответствующем удлинении их станин. Однако это осуществить не удалось, и пришлось применить неприспособленные для указанной цели экскаваторы.

Экскаватором типа Э-258 были изготовлены две недостаточной глубины (3—3,5 *м*) контурные траншеи *I* и *II* вместо необ-

ходимой для данных грунтовых условий глубины 6 *м* (чтобы пройти водоупорный слой плотных тяжелых красно-бурых суглинков). После прорезки ненарушенного грунта траншеи были засыпаны рыхлым грунтом.

Для изготовления двух других контурных траншей были пробурены скважины диаметром 0,4 и глубиной 6 *м* через 1 *м* по оси траншеи *III* и через 0,8 *м* — по оси траншеи *IV* с тем, чтобы

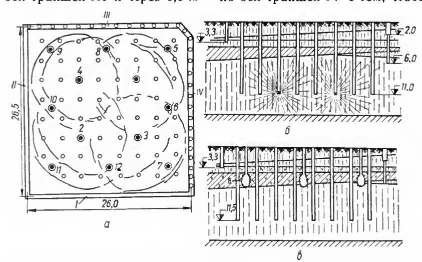



Рис. 46. План (*а*) и разрезы экспериментального участка по скважинам 4—1 первой серии взрывов (*б*) и по скважинам 11, 12, 7 второй серии взрывов (*в*):

*I—IV* — контурные траншеи; *В* — камуфлетная полость.

последующим бурением промежуточных скважин обеспечить необходимую прорезку грунта на 80% по траншее *III* и на 100% — по траншее *IV*. К сожалению, имеющимся буровым агрегатом типа БТС-2 не удалось выполнить ни одной промежуточной скважины. Поэтому и эти две контурные траншеи оказались недостаточными, так как между пробуренными скважинами по *III* траншее осталось в ненарушенном состоянии 60% грунта, а по *IV* траншее — 50%. Таким образом, траншея *III* имела 40% потребного сечения, а траншея *IV* — 50%.

Для измерения осадок поверхности грунта на исследуемом экспериментальном участке по продольной и поперечной осям и по диагоналям площадки были установлены грунтовые марки.

На первом этапе экспериментально-исследовательских работ рассматривали процессы осадок от замачивания при статических условиях протекания осадок на протяжении небольшого начального периода. На втором этапе — процессы уплотнения при сочетании статических и динамических факторов, вызванных глу-

бинными взрывами, производимыми в разных условиях влажностного состояния грунта и на разных глубинах. Второй этап исследований являлся решающим для процесса ускорения просадок, т. е. уплотнения просадочных грунтов.

Опытное замачивание было начато 26 августа 1964 г. Расход воды на замачивание составлял около 400 *м*$^3$ в 1 сутки (около 17 *м*$^3$ в 1 *ч*), или примерно 0,5 *м*$^3$ в 1 сутки на 1 *м*$^2$ замачиваемого участка. Общий расход воды к моменту прекращения замачивания составил 9,2 *м*$^3$ на 1 *м*$^2$ участка. Распределение влажности в грунте систематически контролировалось посредством бурения контрольных скважин с определением влажности грунта через 1 *м* по глубине.

Установленные нивелировкой осадки поверхности грунта на испытываемой площадке показали, что даже недостаточные по глубине для данных грунтовых условий контурные траншеи, не прорезавшие плотного красно-бурого суглинка, залегающего до глубины 5,7—6,7 *м*, и выполненные всего лишь на 40—50% от необходимой глубины, все же принципиально оправдали свое назначение, так как основные осадки протекали в пределах участка.

Затем начался второй этап экспериментально-исследовательских работ.

Первая серия из четырех опытных взрывов по 4 *кг* водостойкого аммонита на глубине 11 *м*, т. е. примерно в центре толщи подлежащих уплотнению водонасыщенных просадочных лессовых грунтов, была осуществлена 24 сентября 1964 г. Для взрывных работ применялся водостойкий аммонит в порошкообразном виде, упаковываемый непосредственно на площадке в деревянные ящики или картонные цилиндры. После установки зарядов на необходимой глубине скважину засыпали грунтом и одновременно заливали водой для доведения грунта до текучей консистенции. Опыт показал, что такая засыпка скважин полностью предохраняет их от выхлопов при взрывах.

После каждого взрыва происходила почти немедленная, заметная на глаз, осадка поверхности грунта порядка 300—400 *мм*. При этом действие каждой взрывной скважины наблюдалось в радиусе до 8 *м*. На рис. 46 показано размещение опытных взрывов первой серии на экспериментальной площадке в плане и по глубине. В связи с тем, что взрывы производились впервые и только в центральной части уплотняемого участка, максимальное понижение поверхности грунта также произошло в центральной части участка. Если максимальная осадка поверхности грунта за 29 суток с начала замачивания от статического уплотнения грунта при замачивании достигла 142 *мм*, то после проведенных в течение 1 *ч* взрывов она увеличилась до 531 *мм*.

Вторая серия опытных взрывов была произведена на глубине 6 *м* в толще пластичных, не насыщенных водой лессовых суглин-

ков, т. е. над уплотняемыми полностью водонасыщенными просадочными грунтами. Эти взрывы, как и ожидалось, почти не повлияли на уплотнение просадочной толщи замачиваемых лессовых грунтов, а вся энергия в основном пошла на образование восьми камуфлетных полостей в толще пластичных суглинков (см. рис. 46). После прочистки скважин при опускании в них электрических фонарей были ясно видны камуфлетные полости диаметром 1—1,3 и высотой 1,2—1,5 *м*.

Если максимальные дополнительные осадки от первой серии взрывов (взорвано 16 *кг* взрывчатки на глубине 11 *м*) *в толще полностью насыщенного водой грунта* достигли почти 400 *мм* за несколько секунд, то от воздействия восьми взрывов второй серии (взорвано 24 *кг* взрывчатки на глубине 6 *м*) в пластичном грунте и *над* уплотняемой толщей просадочных грунтов максимальная дополнительная осадка достигла всего лишь 81 *мм*, т. е. оказалась в 4—5 раз меньшей.

Третья серия опытных взрывов по 5 *кг* взрывчатого вещества снова в толще водонасыщенного грунта на глубине 11—12,5 *м* так же, как и первая, оказалась весьма эффективной и увеличила максимальные осадки до 800—815 *мм*.

Графики осадок поверхности грунта на первом и втором этапах исследований (рис. 47) наглядно подтвердили принципиальную правильность этого способа ускоренного уплотнения грунтов, так как, несмотря на неполноценность примененных в экспериментальных работах контурных траншей, они все же оправдали свое назначение. Данные нивелировки показали, что от 89,6 до 99,0% (в среднем 95,0%) осадок поверхности грунта происходило в пределах уплотняемого участка, ограниченного контурными траншеями, и только в среднем по 2,4—2,6% осадок (с предельными колебаниями от 0% до 7,4%) было отмечено за контурными траншеями, захватывая небольшую зону в пределах не более 10 *м* вокруг наиболее неполноценно выполненных контурных траншей *I* и *II* и не более 6—7 *м* вокруг траншей *III* и *IV* (табл. 8). Величина перепада по контурной траншее достигла 40 *см*.

Проведенные исследования показали, что зона полного насыщения грунта водой распространялась в стороны от контурных траншей не более чем на 6—10 *м*, т. е. на 0,4—0,5 $h$, где $h$ — максимальная глубина залегания на площадке просадочных грунтов. При этом увлажнение грунта распространялось только в нижних слоях массива (ниже 9 *м* по глубине). Следует отметить, что распространение замоченной зоны от экспериментального замачивания, проведенного обычным способом на площадке экспериментального дома № 27 в том же районе, составляло 42—46 *м*, т. е. было в 4—5 раз большим.

Таким образом, экспериментальная проверка в натурных производственных условиях и последующий технико-экономический

анализ полученных результатов полностью подтвердили принципиальную правильность, высокую эффективность, быстроту и надежность ускоренного способа уплотнения просадочных лессовых грунтов, позволяющего во много раз ускорять процессы уплотнения на заданном участке при одновременном уменьшении расходов воды, сокращении зон замачивания в плане по сравнению с тем, что имеет место при общеизвестных способах, с одновременным повышением степени уплотнения, а следовательно, и степени надежности и безопасности строительства и эксплуатации зданий и сооружений, возводимых на наиболее сложных и опасных для строительства просадочных грунтах большой мощности.

Если при обычном способе уплотнения предварительным замачиванием (на площадке дома № 27) при удельном расходе воды

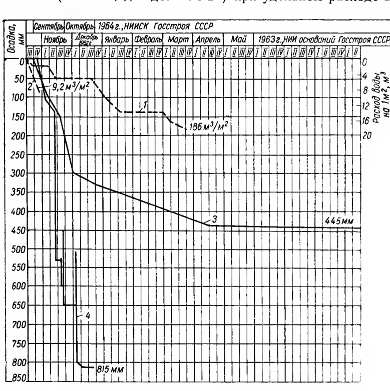



Рис. 47. Графики расходов воды на 1 $м^2$ замачиваемой поверхности и максимальных осадок грунта по двум равноценным экспериментальным площадкам в Запорожье по Космическому шоссе:

*1, 2* — удельные расходы воды для дома № 27 соответственно по методике СНиПа и по рекомендуемому ускоренному способу; *3, 4* — максимальные осадки дома № 27 соответственно по методике СНиПа и по рекомендуемому ускоренному способу.

Таблица 8. Удельный вес осадок грунта на замачиваемом участке и за пределами контурных траншей по разным сечениям

| № грунтовых марок | Местонахождение грунтовых марок | Удельный вес осадок грунта, проц., за период (1964 г.) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 26/VIII—24/IX | 24/IX—30/X | 26/VIII—30/X | Среднее |
| | По поперечной оси площадки (через 3 *м*): | | | | |
| 1—6 | за пределами траншеи | 7,4 | 3,9 | 4,6 | 5,3 |
| 7—15 | на замачиваемом участке | 89,6 | 91,3 | 91,0 | 90,6 |
| 16—21 | за пределами траншеи | 3,0 | 4,8 | 4,4 | 4,1 |
| | По продольной оси площадки (через 3 *м*): | | | | |
| 22—27 | за пределами траншеи | 2,5 | 4,4 | 4,0 | 3,6 |
| 28—35 | на замачиваемом участке | 90,8 | 92,4 | 92,2 | 91,8 |
| 36—41 | за пределами траншеи | 6,7 | 3,2 | 3,8 | 4,6 |
| | По первой диагонали площадки (через 4,2 *м*): | | | | |
| 42—47 | за пределами траншеи | 1,5 | 0,4 | 0,6 | 0,8 |
| 48—56 | на замачиваемом участке | 97,3 | 99,4 | 99,0 | 98,0 |
| 57—61 | за пределами траншеи | 1,2 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| | По второй диагонали площадки (через 4,2 *м*): | | | | |
| 62—67 | за пределами траншеи | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 68—75 | на замачиваемом участке | 98,0 | 99,6 | 99,4 | 99,0 |
| 76—81 | за пределами траншеи | 2,0 | 0,4 | 0,6 | 1,0 |

18,6 $м^3$ на 1 $м^2$ замачиваемой территории максимальные осадки грунта за 1 год достигли 445 *мм*, то при предлагаемом способе в тех же грунтовых условиях уже через 2 месяца (т. е. в 6 раз быстрее) при расходе воды 9,2 $м^3$ на 1 $м^2$ (в 2 раза меньшем) максимальные осадки достигли почти в два раза больших величин — 815 *мм* (см. рис. 47).

В результате комбинированного применения контурных траншей и подземных взрывов в насыщенных водой просадочных лессовых грунтах можно сразу вызывать просадку грунта на 50—200 *см* и более по вертикали в зависимости от мощности уплотняемых грунтов и силы взрывов, что в обычных условиях замачивания достигается в течение длительного времени.

В 1965 г., т. е. примерно через год после экспериментального уплотнения грунтов опытного участка НИИСКа в Запорожье, были дополнительно исследованы физико-механические и просадочные свойства лессовых грунтов на этом же участке на глубину до 20 *м* от поверхности и на окружающей его территории.

Эти исследования проводились с целью выявления характера последующего распространения влажности на замоченном участке и вблизи его, а также установления степени однородности уплотнения на разных глубинах (в пределах от 0 до 20 *м*) и характера последующего изменения физико-механических свойств

уплотненной толщи (влажности, пластичности, пористости, просадочности и др.).

В частности, ставилось целью выявить, до каких пределов в верхней зоне просадочных лессовых грунтов распространяется уплотнение при рекомендуемом способе. Для этого в центральной части уплотненного участка был отрыт шурф *I* глубиной 18 *м*, из которого отобраны и исследованы монолиты грунта с ненарушенной структурой через каждый 1 *м* по глубине.

В стороне от замоченного и уплотненного участка, на расстоянии 45 *м* от его оси или на расстоянии 32 *м* от оси контурной траншеи замоченного участка в северо-западном направлении был отрыт шурф *II* глубиной 20 *м*, из которого также были отобраны и исследованы монолиты грунта с ненарушенной структурой через каждый 1 *м* по глубине.

Из каждой исследуемой точки было отобрано и исследовано по 10 контрольных монолитов для определения основных физических показателей грунта и, в частности, объемных весов и пористости (табл. 9) и по 4—6 контрольных монолитов грунта для определения просадочности (табл. 10). Просадочные свойства грунтов определялись при давлениях 1,0; 2,0 и 3,0 *кг/см²*. С целью получения более достоверных сведений и дополнительного контроля лабораторные исследования проводились одновременно в геотехнической лаборатории Запорожской экспедиции ХарьковГИИНТИЗа Госстроя УССР (в Запорожье), в лаборатории

**Таблица 9. Физические свойства грунтов на экспериментальной площадке**

| Глубина, *м* | Влажность | Граница текучести | Граница раскатывания | Число пластичности | Удельный вес | Объемный вес скелета | Пористость, проц. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | проц. | | | | *т/м³* | | |
| | | | *По шурфу I* | | | | |
| 1 | 14,6 | — | -- | — | 2,67 | 1,40 | 47,5 |
| 2 | 13,9 | 25,4 | 20,0 | 5,4 | 2,67 | 1,46 | 45,3 |
| 3 | 15,5 | 28,3 | 19,1 | 9,2 | 2,69 | 1,48 | 44,9 |
| 4 | 16,4 | 28,1 | 19,4 | 8,7 | 2,68 | 1,47 | 45,1 |
| 5 | 18,9 | 30,1 | 20,0 | 10,1 | 2,69 | 1,40 | 47,9 |
| 6 | 17,1 | 27,5 | 17,4 | 10,1 | 2,69 | 1,52 | 43,4 |
| 7 | 16,7 | 30,0 | 16,3 | 13,7 | 2,69 | 1,57 | 41,5 |
| 8 | 11,2 | 24,7 | 20,0 | 4,7 | 2,67 | 1,59 | 40,4 |
| 9 | 11,0 | 24,4 | 20,2 | 4,2 | 2,67 | 1,60 | 40,0 |
| 10 | 12,0 | 27,0 | 19,0 | 8,0 | 2,68 | 1,62 | 39,4 |
| 11 | 13,3 | 25,2 | 20,0 | 5,2 | 2,68 | 1,62 | 39,4 |
| 12 | 9,2 | 24,6 | 20,3 | 4,3 | 2,68 | 1,62 | 39,4 |
| 13 | 13,9 | 25,0 | 20,8 | 4,2 | 2,68 | 1,60 | 40,2 |
| 14 | 14,1 | 25,0 | 20,8 | 4,2 | 2,68 | 1,60 | 40,2 |
| 15 | 14,2 | 25,4 | 19,0 | 6,4 | 2,67 | 1,62 | 39,2 |
| 16 | 15,0 | 27,0 | 19,0 | 8,0 | 2,68 | 1,61 | 39,8 |
| 17 | 18,0 | 33,5 | 19,9 | 13,6 | 2,69 | 1,60 | 40,4 |
| 18 | 18,9 | 23,5 | 19,5 | 4,0 | 2,67 | 1,62 | 39,2 |

| Глубина, м | Влажность | Граница текучести | Граница раскатывания | Число пластичности | Удельный вес | Объемный вес скелета | Пористость, проц. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | проц. | | | | т/м³ | | |
| | *По шурфу II* | | | | | | |
| 1 | 15,0 | — | — | — | 2,67 | 1,40 | 47,5 |
| 2 | 11,4 | 26,6 | 18,8 | 7,8 | 2,68 | 1,43 | 46,6 |
| 3 | 14,5 | 29,8 | 19,5 | 10,3 | 2,69 | 1,45 | 46,0 |
| 4 | 14,6 | 28,4 | 18,5 | 9,9 | 2,69 | 1,42 | 47,2 |
| 5 | 16,8 | 29,5 | 19,1 | 10,4 | 2,70 | 1,38 | 48,8 |
| 6 | 16,9 | 30,9 | 22,4 | 8,5 | 2,69 | 1,41 | 47,5 |
| 7 | 15,4 | 31,8 | 20,6 | 11,2 | 2,69 | 1,42 | 47,2 |
| 8 | 8,3 | 22,8 | 18,5 | 4,3 | 2,68 | 1,46 | 45,5 |
| 9 | 6,2 | 24,7 | 20,6 | 4,1 | 2,67 | 1,44 | 46,0 |
| 10 | 7,0 | 25,5 | 20,7 | 4,8 | 2,68 | 1,46 | 45,5 |
| 11 | 7,3 | 25,2 | 18,8 | 7,4 | 2,69 | 1,46 | 45,7 |
| 12 | 9,0 | 24,7 | 21,7 | 3,0 | 2,68 | 1,46 | 45,5 |
| 13 | 7,4 | 26,3 | 23,8 | 2,5 | 2,68 | 1,47 | 45,1 |
| 14 | 8,2 | 23,8 | 21,0 | 2,8 | 2,68 | 1,49 | 44,3 |
| 15 | 10,2 | 25,2 | 18,8 | 6,4 | 2,68 | 1,50 | 44,0 |
| 16 | 11,5 | 25,3 | 20,8 | 4,5 | 2,68 | 1,50 | 44,0 |
| 17 | 12,2 | 27,7 | 19,6 | 8,1 | 2,69 | 1,58 | 41,2 |
| 18 | 15,8 | 34,2 | 22,5 | 11,7 | 2,69 | 1,54 | 42,7 |
| 19 | 14,2 | 35,3 | 18,7 | 16,6 | 2,70 | 1,58 | 41,4 |
| 20 | 9,9 | 27,7 | 16,3 | 11,4 | 2,70 | 1,62 | 39,8 |

**Таблица 10. Просадочные свойства грунтов на экспериментальной площадке**

| Глубина, м | Относительная просадочность грунта по шурфу *I* | | | Относительная просадочность грунта по шурфу *II* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Давление, кг/см² | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| 3 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,05 |
| 4 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,05 |
| 5 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,05 |
| 6 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,06 |
| 7 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,07 |
| 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,08 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,07 |
| 10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,05 |
| 11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| 12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| 15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 |
| 16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,03 |
| 17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| 18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| 19 | — | — | — | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| 20 | — | — | — | 0,00 | 0,01 | 0,02 |

оснований и механики грунтов НИИСКа Госстроя СССР (в Киеве) и непосредственно в полевых условиях в Запорожье.

Несмотря на то, что в 1964 г. была полностью замочена вся просадочная толща площадки, уже через 1 год площадка практически оказалась осушенной за счет инфильтрации вод от замачивания в нижние подстилающие грунты. Это позволило от-

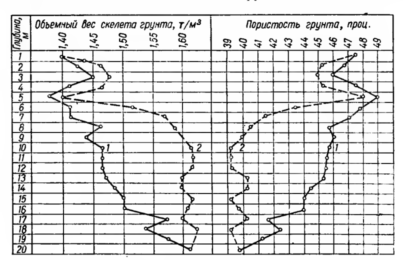



Рис. 48. Распределение по глубине показателей объемного веса скелета грунта и пористости:
*1* — до уплотнения; *2* — после уплотнения.

рыть без всяких креплений в грунте шурф *I* глубиной 18 *м*, а также отобрать из его боковых стенок большое количество монолитов грунта с ненарушенной структурой размерами 20×20×20 *см* каждый. И только на дне этого шурфа, т. е. на глубине 18 *м*, еще сохранился замоченный грунт.

Интересно и то, что шурф *II*, также отрытый без всяких креплений на глубину 20 *м*, показал, что грунты и в этом месте не имели превышения влажности против природной.

Еще более наглядные данные приведены на рис. 48, на котором показано распределение по глубине показателей объемного веса скелета и пористости грунта. Из этих данных видно, что динамические факторы, воздействующие на уплотненный грунт при применении рекомендуемого способа уплотнения, значительно уменьшают мощность верхней, неуплотненной зоны просадочного грунта по сравнению с обычным способом предварительного замачивания. И, в частности, мощность неуплотненной верхней зоны просадочного грунта для этого района застройки снижается с 7—9 *м*, что имело место при обычном способе зама-

чивания, до 4—5 *м* при рекомендуемом способе, т. е. в среднем на 3,5 *м*, или 40—45%.

Такое значительное уплотнение верхней толщи грунта, обычно неуплотняемой при применении известного способа замачивания, объясняется динамическими воздействиями не только на нижние, но и на верхние слои грунта.

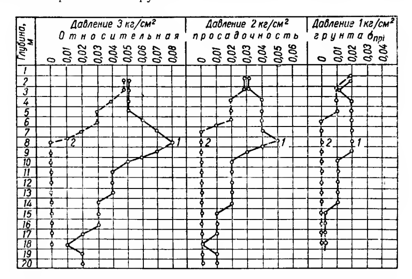



Рис. 49. Распределение по глубине показателей относительной просадочности грунта:

*1* — до уплотнения; *2* — после уплотнения.

Представляют также значительный интерес результаты исследования просадочных свойств грунта на уплотненном (шурф *I*) и окружающем его не уплотненном данным способом участках в пределах глубин от 0 до 20 *м* (рис. 49). Показатели относительной просадочности для каждой исследуемой точки (через 1 *м* по глубине шурфа) определялись при давлениях 1, 2 и 3 *кг/см²* для нескольких контрольных образцов по каждому давлению.

## Результаты экспериментальных исследований на опытном строительстве в условиях просадочных грунтов большой мощности

По плану научно-исследовательских работ по Украинской ССР было предусмотрено внедрить этот способ на строительстве экспериментального жилого крупнопанельного дома в условиях заложения просадочных лессовых грунтов большой мощности,

проведя исследовательские работы непосредственно в полевых производственных условиях.

Эти работы были выполнены в 1967 г. НИИСКом Госстроя СССР (Киев) силами отдела оснований, фундаментов и механики грунтов (И. М. Литвинов, В. К. Валиковский, Р. А. Иваненко, А. М. Рыжов, Л. С. Инжир и др.) с участием лабораторий электротензометрических исследований (М. И. Кандыба, Г. И. Кияница и др.) и экономики строительства (С. М. Гинзбург) в творческом содружестве с Госстроем УССР (О. Б. Петров, С. А. Фанстиль), Минтяжстроем УССР (Г. К. Лубенец, В. С. Посяда, Н. М. Федосенко), строительным комбинатом «Запорожстрой» (И. Я. Светлов, Г. С. Таций, И. И. Папазов, Л. С. Пшеницын и др.), СУ-585 «Укргидроспецфундаментстрой» (Е. А. Томилин, В. М. Овсянкин), Запорожского филиала ГПИ «Укргорстройпроект» (В. И. Губенко, В. Г. Шаповаленко и др.), Киевского инженерно-строительного института (Ю. А. Ветров, В. А. Крупко) и УКСа Запорожского горисполкома (Н. П. Шкода, И. Г. Щеглов). Ответственным исполнителем и руководителем работ являлся автор.

Новый способ глубинного уплотнения впервые проверялся в условиях городской застройки при строительстве 5-этажного 120-квартирного крупнопанельного дома, запроектированного без конструктивных мероприятий, обычно применяющихся в условиях просадочных лессовых грунтов, несмотря на наличие под габаритами застройки этого дома мощной 20-метровой толщи весьма просадочных лессовых грунтов.

Участок, отведенный под застройку, находился в третьем микрорайоне застройки Космического шоссе в Запорожье. Рельеф участка имел понижение с юга на север, причем перепад в отметках между южным и северным торцами дома составлял 2,6 *м* на протяжении 124,7 *м*. Размер уплотняемого участка в плане 17×132 *м*. На рис. 50 показан план застройки (по состоянию на июнь — июль 1967 г.) участка экспериментального дома, окруженного построенными зданиями. Ближайший к участку дом № 6 находился на расстоянии 15 *м*, или на расстоянии 10 *м* от уплотняемого котлована. Дом № 3 расположен на расстоянии 45 *м*, а дома, находящиеся на противоположной стороне ул. Северной,— на расстоянии 55 *м*.

Все дома, окружающие экспериментальное строительство дома № 1 по ул. Северной, построены на неукрепленных просадочных лессовых грунтах II типа, замачивание которых могло бы вызвать неравномерные осадки их фундаментов (до 500 *мм*). Ко времени производства взрывных работ по глубинному уплотнению просадочной толщи эти дома были заселены (кроме строящегося дома № 6).

Экспериментальный жилой дом № 1 — 5-этажный крупнопанельный серии I-480А-35П с существенными конструктивными

упрощениями, выполненными по проекту Запорожского филиала ГПИ «Укргорстройпроект». В проекте исключены все конструктивные мероприятия, связанные со строительством на просадочных лессовых грунтах II типа, и, в частности, снижен расход металла на 30 *т*.

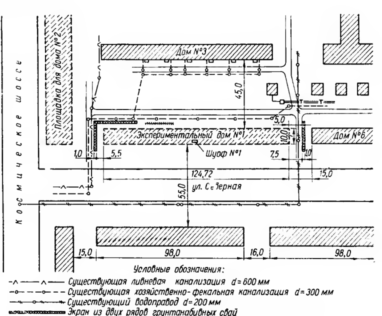



Рис. 50. Расположение экспериментального дома № 1 по ул. Северной в Запорожье.

По данным инженерно-геологических изысканий, выполненных Запорожской экспедицией ХарьковГИИНТИЗа, просадочная толща грунтов составляет на этом участке 17 *м* и состоит из двух горизонтов просадочных лессовидных суглинков, перемежающихся двумя горизонтами просадочного лесса. Лессовая толща подстилается непросадочными лессовыми красно-бурыми суглинками, ниже которых залегают глины. Грунтовые воды были встречены на глубине 19,8 *м*.

По данным исследований Запорожской экспедиции ХарьковГИИНТИЗа возможная суммарная просадка грунта под действием собственного веса должна составлять 45—50 *см*. Такой прогноз подтвердился и лабораторными исследованиями лаборатории оснований и механики грунтов НИИСКа. Опытное замачивание (по обычной методике), проведенное в этом районе НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР, где

**Таблица 11.** **Основные физико-механические характеристики грунтов в**

| Грунт и отметка подошвы, *м* | Глубина, *м* | Влажность естественная, проц. | Объемный вес скелета, *т/м³* | Удельный вес скелета, *т/м³* | Пористость, проц. | Коэффициент относительной просадочности при вертикальной нагрузке, *кг/см²* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 0,5 | 1 | 2 | 3 |
| Почва, 1,1 | 1 | 15,4 | 1,40 | 2,68 | 47,8 | — | 0,004 | 0,048 | 0,075 |
| Суглинок лессовидный, 2,4 | 2 | 17,2 | 1,42 | 2,68 | 47,0 | — | — | — | 0,015 |
| | 3 | 14,5 | 1,35 | 2,67 | 49,4 | 0,001 | 0,033 | 0,083 | 0,113 |
| Лесс, 3,0 | 4 | 8,2 | 1,42 | 2,66 | 46,6 | 0,004 | 0,026 | 0,075 | 0,102 |
| | 5 | 9,8 | 1,45 | 2,66 | 45,5 | 0,022 | 0,039 | 0,073 | 0,092 |
| | 6 | 12,2 | 1,42 | 2,66 | 46,6 | — | 0,002 | 0,040 | 0,074 |
| Суглинок лессовидный, 5,5 | 7 | 16,2 | 1,38 | 2,68 | 48,5 | — | — | 0,012 | 0,045 |
| | 8 | 17,5 | 1,46 | 2,70 | 45,9 | 0,012 | 0,018 | 0,029 | 0,062 |
| | 9 | 15,1 | 1,44 | 2,69 | 46,5 | — | — | 0,039 | 0,063 |
| | 10 | 15,3 | 1,53 | 2,68 | 42,9 | — | — | — | 0,014 |
| | 11 | 12,3 | 1,42 | 2,67 | 46,8 | 0,023 | 0,039 | 0,088 | 0,113 |
| | 12 | 9,5 | 1,43 | 2,66 | 46,2 | 0,023 | 0,030 | 0,055 | 0,088 |
| Лесс, 3,3 | 13 | 9,2 | 1,40 | 2,66 | 46,2 | 0,014 | 0,020 | 0,037 | 0,057 |
| | 14 | 12,2 | 1,41 | 2,66 | 47,0 | — | — | 0,039 | 0,071 |
| | 15 | 14,8 | 1,51 | 2,66 | 43,2 | 0,014 | 0,018 | 0,026 | 0,036 |
| Суглинок красно-бурый лессовидный | 16 | 19,1 | 1,54 | 2,69 | 42,8 | 0,001 | 0,003 | 0,010 | 0,032 |
| | 17 | 18,8 | 1,49 | 2,71 | 45,0 | 0,013 | 0,023 | 0,040 | 0,052 |
| | 18 | 19,3 | 1,54 | 2,71 | 43,2 | 0,002 | 0,003 | 0,005 | 0,019 |

затем был построен дом № 27, также показало, что просадка грунта в течение 2 лет после замачивания не превышала 46 *см*, и ее последующее увеличение было вызвано лишь дополнительной нагрузкой от построенного дома № 27.

Для более детального изучения свойств грунтов в центре площадки был дополнительно вырыт шурф № 1 глубиной 18 *м*, из которого через каждый 1 *м* по глубине были отобраны и исследованы монолиты грунта с ненарушенной структурой (табл. 11).

Для нивелировочных наблюдений за просадкой поверхности на замачиваемом участке и окружающей территории устанавливались поверхностные нивелировочные марки с шагом 4 *м* в пределах застраиваемого контура здания и 5 *м* — за его пределами.

Для определения величин просадок отдельных слоев просадочной толщи на участке был установлен куст из 8 глубинных грунтовых марок, размещенных, начиная с глубины 6 *м* и ниже, через каждые 2 *м* по глубине.

| Пределы консистенции, проц. | | Число пластичности, проц. | Гранулометрический состав, проц., при размере зерен, *мм* | | | | | Коэффициент фильтрации, *м/сутки*, при давлении, *кг/см²* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Граница раскатывания | Граница текучести | | 0,5—0,25 | 0,25—0,05 | 0,05—0,01 | 0,01—0,005 | < 0,005 | 1 | 2 | 3 |
| 16 | 32 | 16 | 0,2 | 13,2 | 48,0 | 11,3 | 27,3 | 0,015 | 0,003 | 0,001 |
| 17 | 35 | 18 | 0,4 | 18,9 | 42,5 | 10,5 | 27,7 | 0,020 | 0,010 | 0,005 |
| 15 | 27 | 12 | 0,7 | 19,8 | 50,2 | 7,5 | 21,8 | 0,012 | 0,008 | 0,004 |
| 17 | 24 | 7 | 0,6 | 24,8 | 55,4 | 5,6 | 13,6 | 0,071 | 0,030 | 0,016 |
| 18 | 23 | 5 | 0,4 | 24,5 | 57,2 | 6,2 | 11,7 | 0,051 | 0,025 | 0,011 |
| 19 | 25 | 6 | 0,4 | 20,4 | 60,7 | 6,0 | 12,5 | 0,020 | 0,006 | 0,005 |
| 16 | 32 | 16 | 0,5 | 18,1 | 41,5 | 12,3 | 26,6 | 0,029 | 0,020 | 0,012 |
| 18 | 38 | 20 | 0,7 | 17,9 | 37,5 | 10,9 | 33,0 | 0,040 | 0,022 | 0,007 |
| 15 | 34 | 19 | 0,7 | 17,7 | 40,0 | 10,1 | 31,5 | 0,063 | 0,038 | 0,013 |
| 15 | 32 | 17 | 0,5 | 13,0 | 47,3 | 11,2 | 28,0 | 0,012 | 0,007 | 0,003 |
| 17 | 25 | 8 | 0,5 | 23,4 | 51,9 | 7,8 | 16,4 | 0,011 | — | — |
| 18 | 25 | 7 | 0,4 | 18,7 | 62,2 | 6,8 | 11,9 | 0,021 | 0,017 | 0,008 |
| 21 | 25 | 4 | 0,3 | 14,2 | 72,7 | 4,9 | 7,9 | 0,016 | 0,010 | 0,007 |
| 19 | 26 | 7 | 0,2 | 13,7 | 67,2 | 6,2 | 12,7 | 0,020 | 0,013 | 0,008 |
| 19 | 27 | 8 | 0,2 | 11,9 | 67,8 | 7,8 | 12,3 | 0,010 | 0,007 | 0,004 |
| 15 | 32 | 17 | 0,7 | 19,1 | 36,5 | 10,9 | 32,8 | 0,013 | 0,007 | 0,004 |
| 18 | 40 | 22 | 0,5 | 16,3 | 36,7 | 9,5 | 37,0 | 0,008 | 0,005 | 0,003 |
| 16 | 38 | 22 | 0,2 | 11,6 | 40,1 | 9,4 | 38,7 | 0,007 | 0,004 | 0,002 |

На рис. 51 и 52 показаны некоторые чертежи проекта уплотнения просадочных грунтов.

Технологическая последовательность комплекса работ по подготовке площадки и производству работ по глубинному уплотнению:

устройство подводящего трубопровода к площадке и на площадке;

изготовление ограждения, обноски и разбивка основных габаритов проектируемого здания, захваток по уплотнению, мест бурения дренажных скважин и погружения обсадных труб для последующей закладки зарядов, разбивка контурных траншей;

бурение дренажных скважин и вибропогружение инвентарных обсадных труб для взрывных скважин; вибропогружение инвентарных обсадных труб с глухими наконечниками для зарядов взрывчатых веществ производилось и в процессе замачивания, если это не нарушало производства работ;

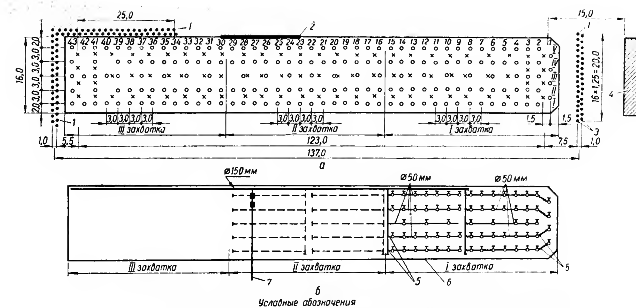



Рис. 51. Проект уплотнения 45 тыс. $м^3$ просадочных лессовых грунтов в основании экспериментального дома № 1 по ул. Северной:

*а* — план размещения дренажных и взрывных скважин и временных экранов; *б* — план размещения инвентарных трубопроводов для замачивания; *1* — экран из уплотненного грунта; *2* — экран из полиэтиленовой пленки; *3* — грунтонабивные сваи диаметром 500 *мм*, длиной 17 *м* с шагом 1,25 *м*; *4* — дом № 6; *5* — гибкие шланги; *6* — контурная траншея; *7* — подводящий трубопровод.

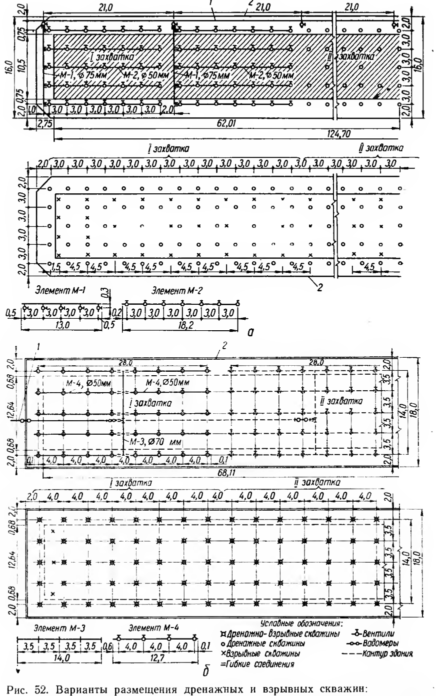



Рис. 52. Варианты размещения дренажных и взрывных скважин:

*а* — раздельного (Запорожье, ул. Северная, № 1); *б* — совмещенного (Херсон, I микрорайон жилого массива ХБК, ул. Казацкая); *1* — подводящий трубопровод диаметром 100 *мм*; *2* — контурная траншея.

установка в горловинах скважин оголовников на первой захватке;

засыпка дренажных скважин шлаковым щебнем;

изготовление контурных траншей;

установка поверхностных марок, монтаж звеньев сети разводящего трубопровода с подключением его к подводящему трубопроводу гибкими элементами;

первоначальная нивелировка площадки по поверхностным грунтовым маркам на захватке и окружающей ее территории до начала замачивания;

замачивание просадочной толщи грунта через дренажные скважины на первой захватке;

нивелировка по поверхностным и глубинным маркам после окончания замачивания перед началом взрывных работ;

установка зарядов взрывных веществ в заранее подготовленных взрывных скважинах с последующим производством взрывов;

вибровыдергивание взрывных труб;

нивелировка после окончания взрывных работ;

демонтаж разводящей сети, оголовников и обсадных труб из мест производства взрывов по первой захватке.

Аналогично повторяются работы на второй и третьей захватках.

После окончания работ по замачиванию и взрывам на трех захватках производилась нивелировка всего участка и за его пределами по маркам.

Дополнительное уплотнение верхнего слоя грунта проектировалось путем устройства грунтовой подушки толщиной 2 *м* из местного грунта, изготовляемой послойной укаткой; фактически уплотнение производилось тяжелыми трамбовками в два слоя по 1 *м* каждый.

Контрольное бурение скважин и изготовление шурфов с отбором монолитов грунта для определения влажности, пористости и просадочности грунтов по всей глубине уплотненной толщи производилось до начала работ, в процессе уплотнения и после его окончания.

Для производства работ по уплотнению грунтов предварительным замачиванием и взрывами применялись следующие механизмы и инвентарь:

агрегаты для механизированного бурения дренажных скважин диаметром 0,4 и глубиной до 12 *м*;

специально изготовленная установка для прорезки контурных траншей шириной 0,32 и глубиной до 6 *м*;

вибропогружатели ВПП-2А для погружения и выдергивания труб диаметром 150—170 *мм* с закрытым нижним отверстием (при взрывных работах). Трубы погружались как в незамоченные, так и в ослабленные замачиванием грунты на глубину 12—

14 *м* с помощью самоходного 16-тонного крана Э-801 на гусеничном ходу или К-161 на пневматическом ходу. Эти равноценные краны имеют стрелу 17 *м* и обеспечивают погружение и выемку труб для взрывных скважин длиной до 14 *м*, что достаточно почти для всех случаев;

инвентарные трубы диаметром 150—170 *мм* для установки взрывных зарядов на необходимой глубине, которые, к сожалению, применяли только на I захватке (см. ниже);

инвентарные элементы разводящего трубопровода на площадке;

контрольные водомеры;

инвентарные оголовники из труб диаметром 400 *мм* с опорами для разводящего водопровода по площадке.

При необходимости уплотнения просадочных грунтов второго типа в застроенных районах, когда требуется максимально сократить распространение воды вокруг уплотняемых участков, автор рекомендует предусматривать водозащитные экраны (из уплотненного грунта, бетона, пленок разных типов и др.).

Такие экраны были изготовлены из уплотненного грунта с двух торцов дома и один из полиэтиленовой пленки — с восточной стороны дома.

Подлежащая уплотнению просадочная толща лессовых грунтов должна замачиваться только через дренажные скважины, глубину и расстояние между которыми устанавливают в зависимости от местных геологических условий и фактического наличия воды (распределяемой в зависимости от необходимого расчетного ее количества, подаваемого в каждую скважину и в каждый замачиваемый слой грунта). Замачивание через котлованы, углубленные дренажными скважинами, ведет к нерегулируемым, произвольным и чрезмерным расходам воды.

Расстояние между дренажными скважинами обычно принимают равным 3—5 *м* по осям. Дренажные скважины должны иметь диаметр 300—500 *мм* и глубину порядка 65—70% от общей мощности просадочных грунтов, считая от поверхности до залегания кровли подстилающих непросадочных грунтов.

В рассматриваемом случае дренажные скважины диаметром 400 *мм* имели глубину 12 *м* и размещались по сетке 3×3 *м* с разрежением (через одну) в средней части котлована, где расстояние в продольной оси было увеличено до 6 *м* (см. рис. 51, 52).

В верхних частях дренажных скважин устанавливались инвентарные оголовники из отрезков труб длиной по 500—600 и диаметром 400 *мм*. Инвентарные оголовники, помимо защиты скважин от их размывания, являлись также и опорами для инвентарных секций разводящего трубопровода. Оголовники могут изготовляться из бракованных металлических труб или сварными из листовой стали (рис. 53).

Подлежащий уплотнению участок был огражден прорезанными в грунте контурными траншеями — осадочными швами. Прорезку грунта для отделения замачиваемых от незамачиваемых массивов рекомендуем делать на глубину 4—6 *м*, стремясь прорезать имеющиеся плотные прослойки грунтов. Ширина контурных траншей должна быть минимально возможной, порядка 0,2—0,4, но не более 0,5 *м*. На строительстве дома глубина контурной траншеи составила 6 *м*, ширина — примерно 0,4 *м*.

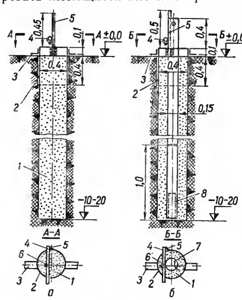


Рис. 53. Дренажные скважины:

*а* — обычная; *б* — совмещенная со взрывной скважиной; *1* — дренажная скважина; *2* — оголовник; *3* — опора оголовника; *4* — разводящий воду трубопровод; *5* — опора для трубопровода; *6* — вентиль; *7* — труба диаметром 150 *мм* для взрывных работ; *8* — заряд взрывчатых веществ.

Контурные траншеи по периметру замачиваемого участка не рекомендуем сопрягать под острым и прямым углом, а по возможности делать сопряжения округленными или скошенными под тупым углом.

Количество воды, заливаемой в дренажные скважины, устанавливалось из расчета заполнения водой примерно 90% пор замачиваемой толщи просадочного грунта в пределах уплотняемого участка, ограниченного контурными траншеями, и составляло 4,5—6,6 $м^3$ на 1 $м^2$ уплотняемой территории. Для учета расхода воды, заливаемой в дренажные скважины, была смонтирована установка из двух последовательно расположенных водомеров, так как опыт показал, что имеют место случаи выхода из строя одиночного водомера.

Учитывая недостаточное обеспечение водой, буровой техникой и инвентарными элементами, необходимыми для работ по замачиванию участка, последний был разбит на три захватки. По окончании работ по замачиванию I-й захватки инвентарные элементы (секции разводящих трубопроводов и оголовники скважин) демонтировали и переносили на следующую захватку.

Продолжительность замачивания устанавливалась на основании результатов предварительно проведенных инженерно-геологических и геотехнических исследований в зависимости от фильтрационных свойств грунта, его мощности, расстояния между

дренажными скважинами и других факторов и составляла 5—6,5 суток по каждой захватке.

Производство работ началось с повышенной части рельефа площадки, а также подстилающего водоупорного слоя грунта

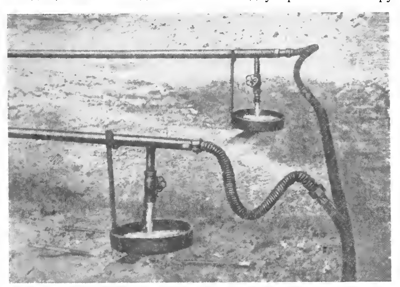


Рис. 54. Общий вид дренажных скважин в процессе их замачивания и гибких соединений для инвентарной разводки воды.

с таким расчетом, что часть влаги будет перемещаться на следующую захватку замачиваемого участка.

Вода подавалась в дренажные скважины через инвентарные элементы, состоящие из металлических труб диаметром 50 *мм* с гибкими соединениями и вентилями над каждой скважиной. Инвентарные элементы разводящего трубопровода подсоединялись к подводящему трубопроводу на площадке гибкими элементами с учетом последующей просадки грунта во время взрывных работ (рис. 54).

В зависимости от оборудования, которое должно обеспечивать быстрое и оперативное погружение в грунт обсадных труб с наконечниками для последующей установки в них зарядов или для погружения зарядов в грунт другими способами, глубину заложения зарядов следует назначать на максимально возможной глубине (с соответствующим экономическим обоснованием) в толще полностью насыщенного водой грунта, доведенного до текучей консистенции, но не выше нижних концов дренажных скважин, а по возможности на 1—2 *м* ниже. Чем ближе к подошве залегания подлежащего уплотнению просадочного мас-

сива будут заложены заряды, тем более эффективно их действие. Взрывные скважины размещались по сетке на расстоянии 4,5×4,5 *м* и только по торцам здания расстояние между ними снижалось до 3 *м*. Вес зарядов — 2—10 *кг*, и только одного заряда (в экспериментальных целях) — 14 *кг*.

Скважины для взрывных работ изготовлялись только механизированным путем — механизированным бурением или вибропогружением *, что более эффективно.

Инвентарные взрывные трубы вынимались из грунта после взрывов вибропогружателем в течение нескольких минут с помощью самоходных 16-тонных кранов типов Э-801 (на гусеничном ходу) или К-161 (на пневмоходу) со стрелами 17 *м*.

Взрывные работы выполнялись с помощью детонаторов, устанавливаемых по 2 штуки в каждом заряде с соблюдением действующих правил производства взрывных работ и техники безопасности.

Подготовленные к взрывам скважины после установки в них зарядов тампонировались путем обычной засыпки их грунтом с одновременной заливкой водой (из шланга), доводящей засыпаемый грунт до текучей консистенции.

Фактическая степень уплотнения просадочного грунта на участке контролировалась нивелировочными наблюдениями за величинами осадок поверхности грунта, суммарная величина которых характеризует соответствующее уменьшение пористости, а следовательно, плотности и просадочности уплотняемой толщи грунта.

Для нивелировочных наблюдений за осадками поверхности грунта на замачиваемом участке и окружающей его территории были установлены 1 продольный и 5 поперечных створов поверхностных марок.

Помимо нивелировочного контроля, дополнительно контролировалась фактическая степень уплотненности грунта на разных глубинах путем изготовления контрольных скважин и шурфов. В частности, изучались показатели влажности, пористости и просадочности по всей глубине уплотняемой толщи.

В процессе замачивания стремились постоянно поддерживать одинаковый уровень воды во всех дренажных скважинах замачиваемой захватки (примерно на 100—300 *мм* ниже верха оголовников скважин), регулируя подачу воды в каждую скважину расположенными над ними вентилями или кранами.

Расход воды учитывали 2 раза в сутки по двум контрольным водомерам для каждой замачиваемой захватки. Результаты замеров заносили в специальный журнал.

Окончание работ по замачиванию на каждой захватке устанавливалось по объему воды, залитой в дренажные скважины

* При помощи вибропогружателей типа ВПП-2А.

в соответствии с проектом (по отсчетам водомеров), и резкому сокращению поглощаемости воды дренажными скважинами.

После заливания в дренажные скважины замачиваемой захватки необходимого количества воды сразу же в замоченную до текучего состояния толщу грунта (превышающего границу текучести) в заранее подготовленные взрывные скважины закладывали заряды водостойкого взрывчатого вещества (ВВ) из водостойкого аммонита (№ 6-ЖВ), гранулированного тола (Г-4821) и прессованных толовых шашек-детонаторов весом по 400 *г* каждая, и производились взрывы.

При значительных объемах работ по уплотнению просадочных грунтов большой мощности предварительным замачиванием следует изготовить несколько комплектов инвентарных элементов разводящих трубопроводов, оголовников, обсадных труб и другого оборудования, что дает возможность одновременно производить замачивание на нескольких захватках с одновременным проведением подготовительных работ на группе других захваток. Это сокращает сроки производства работ и обеспечивает их фронт для непрерывного замачивания.

Существенным тормозом производственному внедрению описанного способа уплотнения является отсутствие специальных землеройных машин для механизированной прорезки минимально узких контурных траншей глубиной до 6 *м*, ограждающих уплотняемые участки просадочной толщи от неуплотняемых. Имеющиеся землеройные машины не дают возможности изготовлять контурные траншеи требуемых размеров по глубине и ширине (не более 0,2—0,4 *м*).

Изготовление контурных траншей существующими механизмами или кустарными средствами технически и экономически нецелесообразно.

В связи с отсутствием таких землеройных машин нельзя было начать экспериментальное строительство дома № 1 по ул. Северной. Поэтому пришлось срочно разработать и изготовить механизм, пригодный для этих целей.

В. С. Посяда (Минтяжстрой УССР) предложил использовать в виде скребкового канавокопателя баровую установку с удлиненной станиной и на ее цепи закрепить съемные резцы или ковши. Расчетная скорость рытья или прорезки контурной траншеи такого скребкового канавокопателя составляет 25—30 *м/ч* при глубине 6 и ширине 0,3—0,5 *м*. За 7-часовую смену 1 агрегат сможет изготовить 175—210 *м* готовой контурной траншеи.

Канавокопатель представляет собой навесное оборудование к гусеничному трактору и состоит из трактора, рабочего органа с приводом от заднего вала отбора мощности трактора, лебедки для подъема рабочего органа в транспортное положение, отбойного устройства для отсыпки дренажа в процессе рытья траншеи и катка-противовеса. Все механизмы запроектированы в виде

отдельных блоков и монтируются на тракторе без его переделки.

Рабочий орган скребкового канавокопателя представляет собой втулочно-роликовую цепь с установленными в определенном порядке скребками-плужками, имеющими режущие кромки для срезания грунта и выноса его из траншеи. Путем замены плужков можно изменять ширину траншеи от 0,3 до 0,5 *м*. Шнек, установленный на раме рабочего органа и приводимый во вращение рабочей цепью, отводит в сторону вынесенный плужками грунт, образуя чистые бермы.

Основные проектные характеристики канавокопателя следующие: глубина отрываемой траншеи до 6, ширина 0,3—0,5 *м*; шаг скребков 0,6 *м*; ширина отвала скребка 0,1 *м*; теоретическая производительность 75 $м^3/ч$; рабочая скорость скребковой цепи 1 *м/сек*; рабочая скорость канавокопателя 20—30 *м/ч*; транспортная скорость 4—4,8 *км/ч*; двигатель Д-55; мощность 54 *л. с.*; число оборотов вала 1300 *об/мин*; топливо дизельное; вес контргруза катка 2,6 *т*; лебедка для подъема рамы ЛР-3; грузоподъемность 3 *т*.

В 1966 г. силами студенческого конструкторского бюро Днепропетровского инженерно-строительного института были разработаны рабочие чертежи приспособления многоковшового цепного экскаватора типа ЭТУ-353 для отрывки узких траншей глубиной 6 *м* в лессовых грунтах.

В этой землеройной машине новый рабочий орган к экскаватору типа ЭТУ-353 запроектирован в виде ковшовой рамы длиной 11,3 *м*, обеспечивающей максимальную глубину копания 6 *м* при угле наклона к горизонту 45° (это не полноценное решение, так как требуется наклон к горизонту 90°).

Ковшовая рама изготовляется сварной прямоугольного сечения размером 550×400 *мм*. Продольные элементы рамы выполняются из уголка 75×75×5, раскосы — из уголка 40×40×4. Ковшовая рама для крепления к приводному валу экскаватора имеет расширяющуюся пяту с литыми проушинами. На верхнем и нижнем поясах ковшовой рамы на специальных кронштейнах установлены соответственно опорные и поддерживающие ролики ковшовой цепи. Хвостовая часть ковшовой рамы заканчивается винтовым натяжным устройством. На расстоянии 3,3 *м* от пяты ковшовой рамы приварены кронштейны для закрепления блоков полиспаста подъема и опускания рабочего органа. Угол наклона ковшовой рамы изменяется механизмом подъема, состоящим из приводной червячной лебедки, опорной стойки с блоками и канатного полиспаста. В целях унификации отдельных узлов нового рабочего органа и удешевления его изготовления ковши и ковшовые цепи приняты серийно выпускаемые для цепного траншейного экскаватора типа ЭТН-142.

Основные проектные характеристики землеройного механизма

следующие: глубина отрываемой траншеи до 6, ширина 0,43 *м*; емкость ковша 16 *л*; шаг ковшей 0,95 *м*; шаг ковшовой цепи 0,19 *м*; число опорожнений ковшей в минуту 70; общая техническая производительность агрегата 52,8 $м^3/ч$; длина контурной траншеи, отрываемой за 1 *ч* при глубине 5 *м* — 25 *м*, при глубине 6 *м* — 20 *м*; рабочая скорость ковшовой цепи 1,1 *м/сек*; транспортная скорость движения (количество передач — 8) 0,75—6,8 *км/ч*; двигатель ДТ-54; мощность 54 *л. с.*; топливо пусковое — бензин, рабочее — дизельное; габаритная длина ковшовой цепи 25 *м*; количество ковшей 27; ширина транспортерной ленты 650 *мм*; максимальный вылет транспортера от оси экскаватора 3050 *мм*; высота наружного конца транспортера от уровня земли 1850 *мм*; ходовое оборудование — расстояние между осями звездочек и натяжного колеса 2650 *мм*; расстояние между серединами гусениц (колея) 2025 *мм*.

Ковши разгружаются в верхней части ковшовой рамы опрокидыванием по обычной схеме, принятой для машин непрерывного действия. Высыпанный грунт попадает на отгрузочный транспортер (конструкция оставлена без изменений), перемещающий его на берму траншеи.

Предварительные расчеты показали, что для резания грунта и преодоления сопротивлений, возникающих при отрывке траншей, а также для отгрузки транспортером вынутого грунта и перемещения машины в процессе ее работы оказалась достаточной мощность установленной силовой установки (дизель типа ДТ-54 в 54 *л. с.*) для нормальной работы экскаватора в лессовых грунтах I и II категорий.

Вес запроектированного рабочего органа не больший, чем у экскаватора типа ЭТУ-353, поэтому машина с новым рабочим оборудованием должна обладать достаточной устойчивостью в рабочем положении. Существенной недоработкой этого агрегата является недостаточный уклон к горизонту рабочего органа (45°), который желательно увеличить до 90°.

Строительно-монтажным комбинатом Запорожстрой (И. Я. Светлов, Г. С. Таций) и трестом Запорожстроймеханизация (Л. С. Пшеницын, В. Г. Грунин, И. С. Головин и др.) в 1967 г. был изготовлен и проверен в работе экспериментальный образец землеройной машины глубинного траншеекопателя для изготовления контурных траншей шириной 0,32 и глубиной до 6 *м*, а при некоторой реконструкции — и более глубоких производительностью до 20 *м* готовой траншеи в 1 *ч*.

Рабочий орган траншеекопателя разработан и изготовлен как навесное сменное оборудование на многоковшовый экскаватор типа ЭТУ-353 и представляет собой удлиненную ковшовую раму, на одном конце которой в подшипниках вращается турасный вал, а на другом расположено натяжное устройство ковшовой цепи.

В результате испытания глубинного траншеекопателя было установлено, что он обеспечивает рытье узких траншей прямоугольного профиля шириной до 0,32 и глубиной до 6 *м*; рабочая скорость изготовления траншеи в лессовых грунтах Запорожья составляет 18—20 *м/ч*; конструкция новых режущих лопаток в сочетании с рыхлителями обеспечивает его удовлетворительную работу.

Рис. 55. Изготовление контурной траншеи шириной 0,4 и глубиной 6 *м* для дома № 1 по ул. Северной в Запорожье.

В ходе опытных испытаний было отрыто 170 *м* траншеи глубиной до 6 и шириной 0,32 *м*. Грунт удалялся от бровки траншеи транспортером, установленным на ЭТУ-353. В слабых грунтах во избежание самопроизвольного обрушения стенок траншей необходимо предусматривать легкое их крепление. При укорочении рабочего органа траншеекопатель может применяться для рытья узких траншей разной глубины для прокладки кабеля, газопроводов и др.

К недостаткам этого траншеекопателя следует отнести значительную чувствительность к почти неизбежным перекосам его рабочей части в процессе движения экскаватора при прорезке траншеи. Для устранения этого требуется хорошо спланированная поверхность по ходу движения экскаватора либо шарнирность, позволяющая компенсировать влияние поверхностных неровностей грунта.

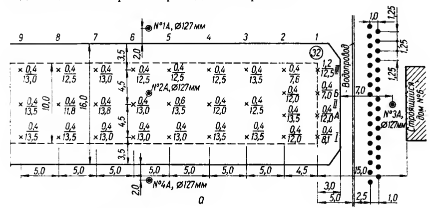
Траншеекопатель (рис. 55) был применен на экспериментальном строительстве 120-квартирного крупнопанельного дома № 1 по ул. Северной, где им было изготовлено 306 *м* контурных траншей глубиной 6 и шириной 0,32—0,40 *м* для уплотнения площадки размерами 132×17 *м*.

Лабораторией новых землеройных машин Киевского инженерно-строительного института по заданию лаборатории оснований и механики грунтов НИИСКа Госстроя СССР были выполнены экспериментально-теоретические и опытно-конструкторские работы по созданию машины для нарезки траншей глубиной до 6 и шириной 0,3—0,5 *м*. В частности, обобщен опыт по землеройным машинам, которые могут быть использованы для нарезки

траншей, а также были проведены исследования по определению сопротивления резанию лессовых грунтов в Запорожье.

Таким образом, только в июне 1967 г. можно было начать работы по уплотнению просадочной толщи грунтов в основании экспериментального дома.

Вследствие новизны работ проектом было предусмотрено разбить процесс уплотнения на три захватки: I захватка размерами 46,5×17 *м* в плане (площадью 790 *м*²), II захватка размерами 42×17 *м* в плане (площадь 714 *м*²) и III захватка размерами 43,5×17 *м* в плане (площадь 740 *м*²). Уплотняемый участок имел размеры 132×17 *м* в плане (площадь 2244 *м*²). Схемы I и III захваток с размещением взрывных скважин и экспериментальных водозащитных экранов приведены на рис. 56.



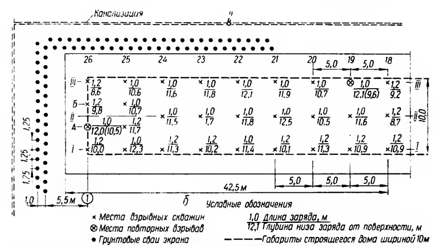




Рис. 56. Основные данные о взрывных скважинах на I захватке (*а*) и на III захватке (*б*) экспериментального дома № 1 по ул. Северной в Запорожье.

С южной торцовой стены экспсриментального дома у примыкания его к близрасположенному торцу дома № 6 и у северо-восточного угла эксперимснтального дома были изготовлены два водозащитных экрана глубиной 17 *м* (на всю толщу просадочных грунтов). Протяженность первого экрана 20, второго 50 *м*. Экраны изготовлялись из двух рядов грунтонабивных свай, размещенных на расстоянии 1 *м* в шахматном порядке с шагом

**Таблица 12.** Порядок производства работ по глубинному уплотнению просадочных грунтов, расходы воды на замачивание и средние осадки поверхности грунта

| Дата (1967 г.) | Расход воды, $м^3$ | | | | Средняя осадка, *мм* |
|---|---|---|---|---|---|
| | общий | | суточный | | |
| | Всего | На 1 $м^2$ | Общий | На 1 $м^2$ | |
| | *I захватка** | | | | |
| 8/VI | 1-ая предварительная нивелировка | | | | 0 |
| 8/VI | Начало замачивания | | 0 | 0 | 0 |
| 9—14/VI | 5760 | 6,66 | 550—1200 | 0,7—1,5 | 0 |
| 15/VI | 2-ая нивелировка перед взрывами | | | | 0 |
| 16/VI | Взрывные работы | | | | — |
| 17/VI | 3-я нивелировка после взрывов | | | | 1000 |
| 27/VI | 4-ая нивелировка перед взрывами на II захватке | | | | 1127 |
| 28/VI | Взрывные работы на II захватке | | | | — |
| 29/VI | 5-ая нивелировка после взрывов | | | | 1182 |
| 4/VII | Дополнительные взрывы на II захватке | | | | — |
| 14/VII | Взрывные работы на III захватке | | | | — |
| 17/VII | 8-я нивелировка | | | | 1267 |
| | *II захватка*** | | | | |
| 21/VI | Начало замачивания | | 0 | 0 | 0 |
| 21—22/VI | 700 | 0,98 | 700 | 1,0 | 0 |
| 23—24/VI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25—28/VI | 3000 | 4,20 | 600—700 | 0,8—1,0 | 0 |
| 28/VI | Взрывы на II захватке | | | | — |
| 29/VI | Нивелировка после взрывов | | | | 481 |
| 2/VII | Начало частичного дополнительного замачивания | | | | — |
| 3/VII | 3200 | 4,50 | 200 | 0,3 | 481 |
| 4/VII | Дополнительные взрывы на II захватке | | | | — |
| 5/VII | Нивелировка после дополнительных взрывов | | | | 907 |
| 17/VII | Нивелировка после взрывов на III захватке | | | | 1015 |
| 24/VII | Нивелировка после вибровыдергивания | | | | 1046 |
| | *III захватка**** | | | | |
| 7/VII | Начало замачивания | | 0 | 0 | 0 |
| 8—13/VII | 4280 | 5,78 | 610—900 | 0,8—1,2 | 0 |
| 14/VII | Взрывы на III захватке | | | | — |
| 17/VII | Нивелировка после взрывов | | | | 945 |
| 24/VII | Нивелировка после вибровыдергивания взрывных труб | | | | 1040 |

* Всего на замачивание затрачено 152 *ч* или 6,3 суток.
** Всего на замачивание затрачено 139 *ч* или 5,8 суток.
*** Всего на замачивание затрачено 138 *ч* или 5,8 суток.

между осями свай 1,25 *м*. С восточной стороны экспериментального дома был изготовлен третий экран из полихлорвиниловой пленки длиной 25 и глубиной 6 *м*, для чего была использована контурная траншея.

В табл. 12 приведена очередность проведения основных работ по глубинному уплотнению просадочной толщи.

Весь процесс уплотнения на I захватке занял 8 суток, из которых 6,3 суток ушло на замачивание, 0,2 суток — на взрывные работы, а остальное время — на непроизводительные перерывы в работе. За это время поверхность грунта понизилась на 1000 *мм*, т. е. вдвое больше, чем ожидалось по данным исследований грунтов и предусматривалось по проекту. При этом после окончания всех работ на участке, проведенных в течение 1 месяца, средняя осадка достигла 1267 *мм*.

Удачные результаты уплотнения на I захватке вызвали на II захватке снижение ответственности у строителей. В частности, во время работ в ночную смену значительная часть дренажных скважин на II захватке была засыпана плохо пропускающим воду пылеватым шлаковым отсевом, вместо хорошо дренирующего шлакового щебня. Дренажные скважины, засыпанные шлаковым щебнем, могут поглощать 1,5—2,5 $м^3$ воды в 1 *ч*, а дренажные скважины, засыпанные пылеватым отсевом, поглощали 0,01—0,05 $м^3$ воды в 1 *ч* или в 40—100 раз меньше.

В связи со слабой фильтрационной способностью части дрен, вода переливалась через небрежно установленные оголовники и увлажняла окружающую территорию. В результате этого через 1 сутки после начала замачивания подачу воды в дрены вынуждены были прекратить и заняться расчисткой скважин и ликвидацией других недоделок. К сожалению, упорядочить все дренажные скважины не удалось.

После 44-часового перерыва замачивание продолжали с целью проверки влияния имевших место дефектов скважин.

После заливки в толщу II захватки 4,2 $м^3$ воды на каждый 1 $м^2$ уплотняемой территории были произведены взрывные работы.

Результаты контрольной нивелировки подтвердили, что средние осадки поверхности грунта на II захватке оказались в 2 раза меньшими, чем на I захватке (составили 481 *мм* вместо аналогичных 1000 *мм* на I захватке).

В связи с этим в последующие 2 дня было залито в недостаточно увлажненную зону примерно 200 $м^3$ воды, после чего несколькими взрывами грунт II захватки был уплотнен до требуемых величин (в среднем до 1046 *мм* к концу производства всех работ).

На III захватке был учтен опыт некачественной засыпки дренажных скважин. Однако вместо труб диаметром 150 *мм* были применены трубы диаметром 94 *мм*. В результате этого увеличились длина зарядов, а также сейсмические влияния от взрывов

в нежелательном горизонтальном направлении, т. е. на окружающие дома, заселенные жильцами.

Все же общие результаты глубинного уплотнения грунта на III захватке были положительными, так как в течение короткого времени (142,5 *ч*, или 6 суток, в том числе на замачивание — 138 *ч* и на взрывы — 4,5 *ч*), грунт был надежно уплотнен. При этом, расход воды составил 5,78 $м^3$ на 1 $м^2$ уплотняемого участка, а средняя осадка составила вначале 945 *мм*, а к окончанию работ — 1040 *мм*.

Заряды изготовлялись на строительной площадке и упаковывались в сшитые из плотного материала продолговатые мешочки диаметром несколько меньшим внутреннего диаметра взрывных труб.

Для зарядов применялась смесь из 50% порошка аммонита и 50% гранулированного в зерна тола. Для обводненных труб применялись прессованные цилиндрические шашки тола плотностью 1,52—1,59 $т/м^3$.

Перед опусканием зарядов в скважины обязательно производилась их контрольная проверка путем опускания в трубу металлической болванки, примерно соответствующей диаметру опускаемого заряда.

Заряды опускались в скважины на специальном куске бечевки, которая оставалась в трубе. Опускать заряд на проводах, идущих к детонаторам, недопустимо, так как это может вызвать нарушение контактов с детонаторами, а также разрывы проводников. Данные о размерах зарядов и глубинах их погружения в грунт приведены в табл. 13.

**Таблица 13. Размеры зарядов и глубины их заложения в скважинах**

| № скважины | Вес заряда, *кг* | Диаметр трубы, *мм* | Длина заряда, *м* | Глубина низа трубы, *м* | Глубина до центра заряда, *м* | № скважины | Вес заряда, *кг* | Диаметр трубы, *мм* | Длина заряда, *м* | Глубина низа трубы, *м* | Глубина до центра заряда, *м* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *I захватка (все взрывы)* | | | | | | | | | | | |
| I-1 | | | | 8,1 | 7,9 | II-5 | 10 | | 0,6 | 13,5 | 13,2 |
| А-1 | | 150 | 0,4 | 12,0 | 11,8 | III-5 | | | | 12,5 | 12,3 |
| Б-1 | | | | 7,0 | 6,8 | I-6 | | | | 13,0 | 12,8 |
| III-1 | | 94 | 1,2 | 12,5 | 11,9 | II-6 | | | | 13,0 | 12,8 |
| I-2 | | | | 12,0 | 11,8 | III-6 | | | | 12,5 | 12,3 |
| А-2 | 7 | | | 13,5 | 13,3 | I-7 | | | | 13,0 | 12,8 |
| Б-2 | | | | 12,0 | 11,8 | II-7 | | | | 13,8 | 13,6 |
| III-2 | | | | 7,6 | 7,4 | III-7 | 7 | 150 | 0,4 | 13,0 | 12,8 |
| I-3 | | | | 13,5 | 13,3 | I-8 | | | | 13,5 | 13,3 |
| II-3 | | 150 | 0,4 | 12,5 | 12,3 | II-8 | | | | 11,8 | 11,6 |
| III-3 | | | | 13,5 | 13,3 | III-8 | | | | 12,5 | 12,3 |

| № скважины | Вес заряда, кг | Диаметр трубы, мм | Длина заряда, м | Глубина низа трубы, м | Глубина до центра заряда, м | № скважины | Вес заряда, кг | Длина трубы, мм | Диаметр заряда, м | Глубина низа трубы, м | Глубина до центра заряда, м |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I-4 | | | | 13,5 | 13,3 | I-9 | | | | 13,5 | 13,3 |
| II-4 | 7 | 150 | 0,4 | 12,0 | 11,8 | II-9 | 7 | 150 | 0,4 | 13,5 | 13,3 |
| III-4 | | | | 12,5 | 12,3 | III-9 | | | | 13,0 | 12,8 |
| I-5 | | | | 13,0 | 12,3 | | | | | | |
| *II захватка (первая серия взрывов)* | | | | | | | | | | | |
| I-10 | 10 | 150 | 0,6 | 10,4 | 10,1 | I-14 | | | | 10,7 | 10,2 |
| II-10 | 5 | 94 | 1,0 | 13,4 | 12,9 | II-14 | | | | 12,1 | 11,6 |
| III-10 | 7 | 150 | 0.6 | 12,7 | 12,4 | III-14 | 5 | | 1,0 | 14,7 | 14,2 |
| I-11 | 4 | | | 10,5 | 10,0 | I-15 | | | | 6,4 | 5,9 |
| II-11 | 5 | | 1,0 | 11,2 | 10,7 | II-15 | | | | 9,5 | 9,0 |
| III-11 | 5 | | | 11,8 | 11,3 | III-15 | | | | 11,2 | 10,7 |
| I-12 | 2* | | 0,4 | 11,2 | 11,0 | I-16 | 4 | 94 | | 9,2 | 8,8 |
| II-12 | 5 | 94 | 1,0 | 10,1 | 9,6 | II-16 | | | | 13,3 | 12,9 |
| III-12 | 3 | | 0,8 | 12,7 | 12,3 | III-16 | | | | 10,8 | 10,4 |
| I-13 | | | | 10,5 | 10,0 | I-17 | 4* | | 0,8 | 9,3 | 8,9 |
| II-13 | 5 | | 1,0 | 11,7 | 11,2 | II-17 | 4 | | | 11,3 | 10,9 |
| III-13 | | | | 10,2 | 9,7 | III-17 | 4* | | | 11,8 | 11,44 |
| *II захватка (вторая серия взрывов)* | | | | | | | | | | | |
| I-12 | | | | 10,4 | 9,8 | III-14 | | | | 11,6 | 11,0 |
| II-12 | | | | 11,6 | 10,0 | III-15 | | | | 12,0 | 11,4 |
| III-12 | 7 | 94 | 1,2 | 13,0 | 12,4 | I-17 | 7 | 94 | 1,2 | 8,6 | 8,0 |
| I-13 | | | | 10,4 | 9,8 | II-17 | | | | 8,6 | 8,0 |
| III-13 | | | | 12,3 | 11,7 | III-17 | | | | 10,2 | 9,6 |
| *III захватка (все взрывы)* | | | | | | | | | | | |
| I-18 | | | | 10,9 | 10,3 | I-23 | | 94 | 1,2 | 10,2 | 9,6 |
| II-18 | | 94 | 1,2 | 8,7 | 8,1 | II-23 | | 150 | 1,0 | 11,7 | 11,2 |
| III-18 | | | | 9,2 | 8,6 | III-23 | | | | 11,8 | 11,3 |
| I-19 | | | | 10,9 | 10,3 | I-24 | | 94 | 1,2 | 11,3 | 10,7 |
| II-19 | | 150 | 1,0 | 11,6 | 11,1 | II-24 | 7 | 150 | 1,0 | 11,5 | 11,0 |
| III-19 | | | | 12,1 | 11,6 | III-24 | | | | 11,6 | 11,1 |
| I-20 | | 94 | 1,2 | 11,3 | 10,7 | I-25 | | | | 12,3 | 10,8 |
| II-20 | 7 | 150 | 1,0 | 10,5 | 10,0 | А-25 | | 94 | 1,2 | 11,7 | 11,1 |
| III-20 | | | | 10,7 | 10,2 | Б-25 | | | 1,0 | 10,7 | 11,2 |
| I-21 | | 94 | 1,2 | 10,1 | 9,5 | III-25 | | | | 10,6 | 10,1 |
| II-21 | | | | 12,5 | 12,0 | I-26 | 14 | 150 | 1,2 | 10,0 | 9,4 |
| III-21 | | | | 11,9 | 11,4 | А-26 | | | 1,0 | 12,0 | 11,5 |
| I-22 | | 150 | 1,0 | 11,4 | 10,9 | Б-26 | 7 | 94 | 1,2 | 9,8 | 9,2 |
| II-22 | | | | 11,8 | 11,3 | III-26 | | | | 8,6 | 8,0 |
| III-22 | | | | 12,1 | 11,6 | | | | | | |

* Невзорванные заряды.

После установки заряда на обходимой глубине взрывную трубу засыпали грунтом, поливаемым сверху струей воды из шланга с целью уплотнения грунта и доведения его до текучего состояния.

Опыт показал, что такая засыпка взрывных скважин полностью предохраняет их от выхлопов при взрывах. При таком тампонировании следует воду лить на засыпаемый глинистый грунт, а не наоборот.

Для тампонирования скважин применялся также песок. В этом случае песок засыпали в воду, заливаемую в скважину с небольшим опережением. Применяли также комбинированную засыпку песком и глинистым грунтом.

Взрывные работы производились по предварительно детально разработанным схемам, которые в процессе работ непрерывно корректировались (рис. 57).

Правильно выбранная последовательность в производстве взрывов весьма важна и может в значительной мере способствовать ускорению процесса уплотнения грунта в зонах ранее взорванных зарядов.

На I захватке, являвшейся разведочной, намечалось уточнить принятую по расчету величину зарядов и выяснить влияние разной последовательности взрывов на их эффективность, а также проверить возможность и эффективность групповых взрывов с замедлением в пределах имеющихся возможностей. Величина зарядов по этому участку первоначально была принята 10 *кг*.

После первого одиночного взрыва выяснилось, что величину зарядов можно уменьшить. Поэтому все подготовленные заряды были уменьшены на 3 *кг* каждый.

В результате проведенных испытаний был сделан вывод, что наиболее оптимальной является схема, при которой вначале делаются взрывы по контурным границам уплотняемого участка, а затем — замыкающие в центральных участках, где имеет место гарантированное максимальное замачивание грунта. Такие замыкающие взрывы вызывали дополнительное уплотнение грунта вокруг предварительно взорванных контурных скважин.

Результаты глубинного уплотнения грунта оказались значительно лучшими, чем ожидалось.

На II захватке с целью эксперимента вес зарядов был уменьшен с 7 *кг* до 5 и 4 *кг*, а в отдельных скважинах — до 3 и 2 *кг*. Количество заливаемой воды в грунт также уменьшилось и, как упоминалось выше, качество дренажных скважин при их засыпке дренирующим материалом резко снизилось. В результате этого степень уплотнения на II захватке также уменьшилась примерно в 2 раза по сравнению с I захваткой.

С целью доведения плотности грунтов примерно до плотности, соответствующей плотности на I захватке, пришлось в течение двух дней дополнительно замачивать грунт в местах бракован-

ных дренажных скважин и произвести 10 дополнительных взрывов по 7 *кг* каждый. После этого степень уплотнения грунта на II захватке приблизилась к степени уплотнения грунта на I захватке.

На III захватке вес зарядов снова был увеличен до 7 *кг* (кроме скважины I-26, в которой в порядке опыта вес заряда был увеличен до 14 *кг*), качество изготовления дренажных скважин доведено до проектных требований, поэтому результаты уплотнения получились положительными.

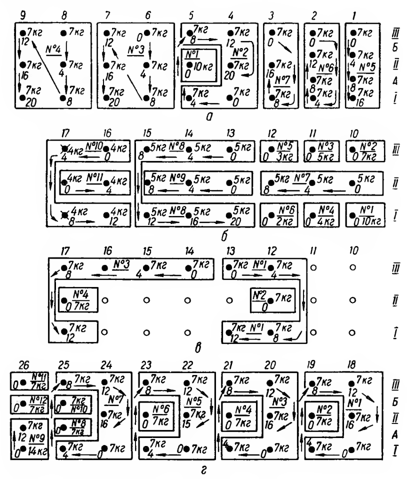



Рис. 57. Последовательность проведения взрывов (указана стрелками) по отдельным их группам на захватках:

*а* — первой; *б* — второй при уплотнении на 50%; *в* — второй при дополнительном уплотнении до 100%; *г* — третьей; №№ — порядковые номера отдельных групп взрывов; 0, 4, 8, 12, 16, 20 — замедление взрывателя в миллисекундах.

На рис. 58 показан выброс газов через отдельные слабо затампонированные скважины при взрывных работах. Выброс газов сопровождается выносом на поверхность на высоту до 10—20, а в ряде случаев и до 50 *м* газов и избыточной воды, которая обычно выдавливается на поверхность в виде многочисленных

Рис. 58. Выбросы газов при взрывах в результате недостаточной тампонировки взрывных скважин.

бурлящих родников, что сопровождается заметным на глаз оседанием поверхности грунта.

Взрывные работы не повлияли на работу транспорта окружающих улиц и жильцов домов, несмотря на то, что они производились в непосредственной близости от них.

С целью выявления безопасных расстояний от места взрывов до окружающих зданий, а также оптимальных весов зарядов, количества одновременно взрываемых зарядов, влияния величин времени замедления между отдельными взрывами при групповом способе взрывания и других вопросов, связанных с производством взрывных работ при данном способе уплотнения, к исследованиям была привлечена группа вибродинамики лаборатории электронно-тензометрических исследований НИИСКа Госстроя СССР *.

В соответствии с поставленными задачами сейсмические колебания замерялись по методу МИКС, разработанному в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта. Для измерения колебаний использовалась сейсмическая аппаратура, предназначенная для

* Канд. техн. наук М. И. Кандыба, инженеры Г. И. Кияница, Э. В. Чудутов, А. С. Жмуденко.

регистрации во времени перемещений частиц в волнах, распространяющихся в грунте.

Для точек, расположенных в непосредственной близости от очага взрыва, применялись сейсмоприемники ВБП-3; в более удаленных точках устанавливались сейсмоприемники ВЕГИК и КОО1. Колебания записывались с помощью шлейфовых осциллографов И-700.

Сейсмоприемники ВБП-3 позволяют записывать во времени перемещения грунта по вертикальной или горизонтальной составляющей с амплитудами колебаний 0,5—200 *мм* в интервале колебаний 0,01—1 *сек*.

Сейсмоприемники ВЕГИК записывают во времени перемещения грунта по вертикальной или горизонтальной составляющей с амплитудами колебаний 0,001—2 *мм* в интервале периодов колебаний 0,01—1 *сек*.

Сейсмоприемники КОО1 предназначены для записи перемещений. Амплитуда замеряемых колебаний до 1 *мм* в интервале частот 2—200 *гц*.

К сожалению, из-за ливневого дождя, прошедшего в период проведения экспериментальных взрывных работ на I захватке, были замочены и вышли из строя приборы, регистрирующие сейсмические колебания, в связи с чем произвести полноценную обработку сейсмических наблюдений не представилось возможным. Поэтому при описании результатов динамических исследований и обработке полученных материалов, данные по I захватке не участвуют, хотя и представляют наибольший интерес.

На II захватке ставилась цель получения картины сейсмических колебаний на небольшом расстоянии вокруг площадки, в связи с чем приборы размещались на сравнительно небольших расстояниях. На III захватке приборы максимально рассредотачивались с целью регистрации сейсмических колебаний на сравнительно бо́льших расстояниях. В каждой точке устанавливалось по два или три прибора, ориентированных в двух или трех направлениях (рис. 59).

При расшифровке осциллограмм во всех случаях брались максимальные значения амплитуд, записанные на осциллограмме (рис. 60). Данные, полученные при обработке осциллограмм, показали, что при взрывах одиночных зарядов разного веса амплитуды колебаний не всегда согласовывались с ожидаемым их увеличением при увеличении веса зарядов. В ряде случаев наблюдалось обратное явление, т. е. увеличение амплитуд колебаний при снижении веса заряда (табл. 14). Так, например, в таблице показано, что при взрыве заряда весом 4 *кг* на II захватке амплитуда горизонтальной составляющей более чем в 2 раза превышает амплитуду при взрыве заряда весом 7 *кг*. Это явление еще более заметно при взрывах одиночных зарядов на III захватке. При одинаковом весе заряда и примерно равном

расстоянии от очага взрыва до точек установки приборов, амплитуды колебаний, особенно горизонтальной составляющей, резко отличались по своей величине.

На основе проведенных экспериментальных работ по применению энергии взрывов для глубинного уплотнения просадочных грунтов и расшифровки соответствующих сейсмограмм, записывавших динамические воздействия на грунты площадки в разных точках, была составлена табл. 15, где приведены значения минимальных безопасных расстояний в зависимости от веса заряда взрывчатого вещества.

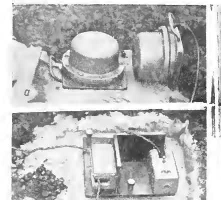


Рис. 59. Установка сейсмоприемников ВБП-3 (*а, в*) и ВЕГИК (*б*) для замеров вертикальных и горизонтальных колебаний грунта при взрывных работах.

Данные, приведенные в табл. 15, также указывают на нестабильность расстояния в зависимости от веса заряда взрывчатого вещества. Так, при взрыве заряда весом 10 *кг* минимальное безопасное расстояние составляет 27 *м*, в то время как при взрыве заряда в 4 *кг* минимальное безопасное расстояние равно 32 *м*.

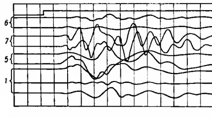



Рис. 60. Осциллограмма перемещений грунта при взрыве № 5 на III захватке в точках *1, 5, 6, 7*.

В табл. 16 приведены величины максимальных амплитуд перемещения грунта над взрывными скважинами на II захватке.

Анализируя результаты проведенных исследований, группа динамики НИИСКа считает, что основной причиной указанного несоответствия является то, что заряды взрываются в стальной трубе, в результате чего возникают сейсмические колебания направленного действия, которые не подчиняются известным закономерностям при взрывах.

Таблица 14. Примеры несоответствия величин амплитуд колебаний от веса зарядов при разной их протяженности и разных грунтовых условиях

| Вес заряда $c$, кг | Расстояние от взрыва $r$, м | Амплитуды перемещений грунта, мм | | Приведенное расстояние $R_{пр} = \frac{r}{\sqrt[3]{c}}$ | Сейсмичность, баллы, по | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | горизонтальные $x$ | вертикальные $z$ | | $R_{пр}$ | $x$ | $z$ |
| 3,0 | 11,6<br>17,8<br>26,0 | 3,80<br>2,00<br>0,52 | 3,40<br>1,05<br>0,97 | 8,1<br>12,4<br>18,0 | 7<br>6<br>5 | 7<br>6<br>5 | 7<br>6<br>5 |
| 4,0 | 22,8<br>28,8<br>37,2 | 7,20<br>2,10<br>0,46 | 2,53<br>1,27<br>1,18 | 14,4<br>18,1<br>23,8 | 6<br>5<br>5 | 8<br>7<br>4 | 7<br>6<br>6 |
| 5,0 | 15,2<br>20,2<br>27,5 | 3,40<br>0,61<br>0,40 | 2,13<br>1,20<br>0,91 | 8,9<br>11,8<br>16,1 | 7<br>6<br>5 | 7<br>5<br>4 | 7<br>6<br>5 |
| 7,0 | 20,0<br>23,6<br>29,6 | 3,10<br>0,98<br>0,25 | 2,80<br>1,32<br>1,01 | 10,5<br>12,4<br>15,5 | 6<br>6<br>6 | 7<br>5<br>4 | 7<br>6<br>5 |
| 7,0 | 17,4<br>32,2<br>67,2<br>114,2 | 7,32<br>1,90<br>0,26<br>0,35 | 2,08<br>1,25<br>0,49<br>0,36 | 9,1<br>16,8<br>35,2<br>59,9 | 7<br>5<br>4<br>3 | 8<br>6<br>4<br>4 | 7<br>6<br>5<br>4 |
| 7,0 | 19,5<br>30,6<br>63,2<br>109,4 | 14,03<br>2,25<br>0,49<br>0,37 | 1,90<br>1,26<br>0,49<br>0,42 | 10,2<br>16,0<br>33,0<br>57,3 | 6<br>5<br>4<br>3 | 9<br>7<br>4<br>4 | 6<br>6<br>5<br>4 |
| 7,0 | 17,2<br>28,8<br>61,2<br>107,6 | 1,20<br>0,76<br>0,62<br>0,30 | 1,98<br>1,47<br>0,48<br>0,31 | 9,0<br>15,0<br>32,0<br>56,2 | 7<br>6<br>4<br>3 | 6<br>5<br>5<br>4 | 6<br>6<br>5<br>4 |
| 7,0 | 15,0<br>22,4<br>54,2<br>106,0 | 16,10<br>0,75<br>0,42<br>0,32 | 2,20<br>1,37<br>0,90<br>0,28 | 7,8<br>11,7<br>28,3<br>55,5 | 7<br>6<br>4<br>3 | 9<br>5<br>4<br>4 | 7<br>6<br>5<br>4 |
| 7,0 | 17,0<br>24,8<br>56,4<br>102,6 | 24,70<br>1,01<br>0,71<br>0,27 | 1,36<br>1,30<br>0,41<br>0,23 | 8,9<br>13,0<br>29,5<br>53,7 | 7<br>6<br>4<br>3 | 10<br>5<br>5<br>4 | 6<br>6<br>4<br>3 |
| 10,0 | 20,0<br>23,6<br>29,6 | 12,80<br>2,47<br>0,88 | 7,20<br>1,92<br>1,55 | 9,3<br>11,0<br>13,8 | 7<br>6<br>6 | 9<br>7<br>5 | 8<br>6<br>6 |

**Таблица 15.** Примеры несоответствия величин безопасных минимальных расстояний в зависимости от величин зарядов при разных длине заряда и грунтовых условиях

| Одиночный взрыв | | | Групповой взрыв | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Захватка | Вес заряда, *кг* | Минимальное безопасное расстояние *r*, *м* | Захватка | Вес заряда, *кг* | Минимальное безопасное расстояние *r*, *м* |
| II | 3<br>4<br>5<br>7<br>10 | 21,5<br>32,0<br>18,0<br>23,5<br>27,0 | II | 3×5<br>6×5<br>3×5 | 37,5<br>36,5<br>22,0 |
| III | 7 | 46,0 | III | 5×7<br>7+14 | 49,0<br>50,0 |

**Таблица 16.** Максимальные амплитуды перемещения грунта над взрывными скважинами на II захватке

| № скважины | № взрыва | Количество и вес зарядов, *кг* | Амплитуда перемещения грунта, *мм* | Период колебаний, *сек* |
|---|---|---|---|---|
| I-10 | 1 | 1×10 | 48,7 | 0,417 |
| III-10 | 2 | 1×7 | 6,3 | 0,240 |
| III-11 | 3 | 1×5 | 15,2 | 0,380 |
| I-11 | 4 | 1×4 | 8,3 | 2,267 |
| III-12 | 5 | 1×3 | 7,9 | 0,267 |
| II-10, 11, 12 | 7 | 3×5 | 12,9 | 0,460 |
| III-13, 14, 15, I-15, 14, 13 | 8 | 6×5 | 8,7 | 0,366 |
| II-13, 14, 15 | 9 | 3×5 | 15,0 | 0,377 |

В то же время проведенными автором исследованиями на опытном участке НИИСКа в восьмом микрорайоне Космического шоссе Запорожья (1964—1965 гг.) было установлено, что сейсмический эффект при глубинном уплотнении грунтов разрабатываемым способом значительно улучшается при помещении зарядов взрывчатых веществ в стальных трубах. Кроме того, погружение зарядов взрывчатых веществ в водонасыщенные грунты на глубину 12—14 *м* практически невозможно без применения труб.

Поэтому нашими экспериментальными работами (1964—1965 гг.) было установлено, что для повышения эффективности взрывов при глубинном уплотнении просадочных грунтов и исходя из реальных для настоящего времени условий производства работ заряды взрывчатых веществ следует помещать в трубах, стремясь по возможности уменьшить высоту зарядов при максимальном увеличении их диаметра, т. е. принимать взрывные трубы максимально большего диаметра.

Такие компактные заряды создают более благоприятное распределение действия взрывной волны, что в конечном итоге будет

способствовать снижению направленного в стороны сейсмического эффекта.

Вместе с тем применявшиеся на экспериментальном строительстве взрывные работы безусловно способствовали тому, что их результаты вызывали сейсмические воздействия направленного действия. Автор это объясняет тем, что большинство применявшихся на II и III захватках взрывных труб имели недопустимо малые диаметры (94 *мм* вместо требуемых по проекту 150 *мм*, что имело место на I захватке, где были получены наиболее удачные результаты). Малые диаметры труб вызывали чрезмерное удлинение зарядов взрывчатых веществ, длина которых доходила до 1200—1300 *мм* при диаметре 80—70 *мм*, т. е. отношение длины заряда к его диаметру составляло 15—20, в то время как оно должно было быть не более 2—3, что практически вполне осуществимо, хотя наиболее оптимальным является отношение, равное 1 или меньшее 1.

Для подтверждения изложенного в табл. 17 приведены характерные данные размеров зарядов взрывчатых веществ по высоте в зависимости от их диаметров и объемных весов. При имеющих

Таблица 17. Размеры зарядов взрывчатых веществ по высоте (*см*) при разных диаметрах труб, диаметрах зарядов и объемных весах

| Объемный вес взрывчатого вещества, *г/см*³ | Диаметр трубы, *мм* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 150 | | 100 | | 90 | |
| | Диаметр заряда, *мм* | | | | | |
| | 140 | 130 | 90 | 80 | 80 | 70 |
| | *Вес заряда 1 кг* | | | | | |
| 0,8 | 8,1 | 9,4 | 19,7 | 24,9 | 24,9 | 32,5 |
| 0,9 | 7,2 | 8,3 | 17,5 | 22,1 | 22,1 | 28,9 |
| 1,0 | 6,5 | 7,5 | 15,7 | 19,9 | 19,9 | 26,0 |
| 1,1 | 5,9 | 6,9 | 14,3 | 18,1 | 18,1 | 23,6 |
| 1,2 | 5,4 | 6,3 | 13,1 | 16,6 | 16,6 | 21,6 |
| 1,3 | 5,0 | 5,8 | 12,1 | 15,3 | 15,3 | 20,0 |
| 1,4 | 4,6 | 5,4 | 11,2 | 14,2 | 14,2 | 18,5 |
| 1,5 | 4,3 | 5,0 | 10,5 | 13,3 | 13,3 | 17,3 |
| 1,6 | 4,1 | 4,7 | 9,8 | 12,5 | 12,5 | 16,2 |
| | *Вес заряда 7 кг* | | | | | |
| 0,8 | 56,7 | 65,8 | 137,9 | 174,3 | 174,3 | 227,5 |
| 0,9 | 50,4 | 58,1 | 122,5 | 154,7 | 154,7 | 202,3 |
| 1,0 | 45,5 | 52,5 | 109,9 | 139,3 | 139,3 | 182,0 |
| 1,1 | 41,3 | 48,3 | 100,1 | 126,7 | 126,7 | 165,2 |
| 1,2 | 37,8 | 44,1 | 91,7 | 116,2 | 116,2 | 151,2 |
| 1,3 | 35,0 | 40,6 | 84,7 | 107,1 | 107,1 | 140,0 |
| 1,4 | 32,2 | 37,6 | 78,4 | 99,4 | 99,4 | 129,5 |
| 1,5 | 30,1 | 35,0 | 73,5 | 93,1 | 93,1 | 121,1 |
| 1,6 | 28,7 | 32,9 | 68,6 | 87,5 | 87,5 | 113,4 |

место колебаниях объемного веса взрывчатого вещества от 0,8 до 1,6 *кг/см*³ высота заряда будет колебаться в пределах 200%. При уменьшении диаметра взрывной трубы от 150 до 90 *мм* эти колебания достигают 800%.

Например, если заряд весом 7 *кг* из прессованного тола с объемным весом 1,6 *г/см*³ для трубы диаметром 150 *мм* может иметь диаметр 14 *см* и высоту 28,7 *см*, то такой же по весу заряд из порошкообразного аммонала с объемным весом 0,8 *г/см*³ для трубы диаметром 90 *мм* уже должен иметь высоту от 175 до 287 *см*, т. е. более 2 *м*, что вызывает значительную горизонтальную направленность взрыва.

При выполнении экспериментальных работ не было взрывных труб необходимого диаметра и взрывчатых веществ необходимой плотности, и, кроме того, грунт вокруг уплотняемой площадки резко отличался по влажности. Этим в основном автор объясняет разные по величине данные амплитуд колебаний грунта при взрывах разной мощности.

Обычно здания, окружающие строительные площадки, размещаются на разных расстояниях с соответствующими разрывами. На таких участках сейсмический эффект можно регулировать (по предложению группы динамики НИИСКа), используя кумулятивные выемки в зарядах, ориентированные в свободные от строений стороны.

При проектировании возникало опасение, что разорванные при взрывах нижние части взрывных инвентарных труб трудно будет вынимать из грунта, поэтому трубы проектировали и изготовляли составными из двух частей: верхней инвентарной диаметром 150—170 *мм*, длиной 12 *м* и нижней, предназначенной для разового применения, в которой взрывается заряд и которую предполагали оставлять в грунте. Нижняя часть трубы того же диаметра, что и верхняя, но длиной до 1,5 *м*, имела снизу плоское или заостренное днище и соединялась с верхней частью трубы очень легкой точечной сваркой с изоляцией битумом для того, чтобы в трубу не попадала вода.

Однако проведенные нами работы показали, что при взрывах разрушение происходит только в местах помещения зарядов, на весьма небольших участках трубы, примерно, длиной 0,5—0,7 *м* при допустимом минимальном диаметре трубы 150 *мм* и длиной 1—1,2 *м* при нежелательных меньших диаметрах трубы порядка 100—94 *мм*, которые вызывают необходимость применения удлиненных взрывов, концентрирующих взрывные воздействия не в том направлении, в котором требуется для наших целей. При применении взрывных труб диаметром 150 *мм* расход труб весьма небольшой и составляет всего 0,5—0,7 *м* по длине на 300 *м*³ уплотняемого грунта.

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать такие выводы:

конструкцию взрывной трубы можно значительно упростить, т. е. не делать ее составной, а применить обычную трубу с закрытым наглухо нижним концом (желательно заостренным);

вибровыдергивание подорванной снизу трубы не представляет затруднений;

при своевременном вибровыдергивании трубы (сразу после окончания взрывных работ) ускоряется процесс окончательной стабилизации уплотнения грунта (дополнительно повышается его плотность примерно на 10—15%).

Вибровыдергивание труб диаметром 150 *мм* удобно производить при помощи самоходного крана К-161 грузоподъемностью 16 *т* с вибропогружателем типа ВПП-2А.

Рис. 61. Характер разрушения нижних концов металлических труб во взрывных скважинах (на участках длиной 0,5—0,7 *м*).

Время, затрачиваемое на вибропогружение 1 трубы в замоченный грунт или на вибровыдергивание ее из уплотненного взрывами грунта обычно составляет 3—5 *мин*. Вибровыдергивание труб необходимо производить сразу после окончания взрывных работ. Задержка усложняет выполнение этих работ и дает меньшую эффективность дополнительного уплотнения.

Наиболее характерные случаи разрывов взрывной части таких труб при применении в них зарядов разной высоты показаны на рис. 61.

Современное состояние науки о взрывах и динамике грунтов позволит нам найти правильные пути к тому, чтобы сейсмические воздействия на уплотняемые грунты максимально способствовали поставленной цели и при этом минимально оказывали бы влияние на окружающие здания и сооружения.

В частности, на базе работ Д. Д. Баркана, О. А. Савинова, Л. Р. Ставницера, С. В. Медведева, А. П. Синицына и других советских ученых и инженеров созданы теоретические основы новой отрасли науки — динамики грунтов. В настоящее время ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что в области динамики грунтов советские ученые занимают ведущее положение в мировой строительной науке, а опыт советских инженеров является примером для зарубежных строителей. Однако научные достижения в этой области требуют еще значительных экспериментально-теоретических доработок.

Институтом физики Земли АН СССР разработана сейсмическая шкала *, разделенная на 12 баллов, характеризующих макросейсмические данные, т. е. последствия землетрясения, наблюдаемые визуально. Наиболее важная для практики часть этой шкалы от 6 до 9 баллов утверждена в качестве стандарта (ГОСТ 6249—52). Баллы меньше 5 не причиняют вреда сооружениям, а больше 10 бывают редко.

Аналогичная шкала построена С. В. Медведевым для определения интенсивности сейсмических колебаний при взрывах (табл. 18).

**Таблица 18. Характеристика сейсмичности при взрывах разной интенсивности**

| Сейсмичность, баллы | Характеристика сотрясений | Максимальная скорость колебания грунта, *см/сек* | Скорость по одной составляющей, *см/сек* | Приведенное к весу заряда расстояние $R_{пр}^{-\frac{1}{3}}$, *м·кг* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Колебания отмечаются только приборами | 0,2 | 0,2 | 100 |
| 2 | Колебания ощущаются в отдельных случаях при тишине | 0,2—0,4 | 0,3—0,6 | 63—100 |
| 3 | Колебания ощущаются некоторыми людьми, знающими о взрыве | 0,4—0,8 | 0,6—1,2 | 40—63 |
| 4 | Колебания отмечаются многими людьми; дребезжание стекол | 0,8—1,5 | 1,2—2,5 | 25—40 |
| 5 | Осыпание побелки; повреждение ветхих зданий | 1,5—3,0 | 2,5—5,0 | 16—25 |
| 6 | Тонкие трещины в штукатурке; повреждение зданий, имевших деформации | 3—6 | 5—10 | 10—16 |
| 7 | Повреждение зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии: трещины в штукатурке, падение кусков штукатурки; тонкие трещины в стенах, трещины в печах и трубах | 6—12 | 10—20 | 6,3—10 |
| 8 | Значительные повреждения зданий: трещины в несущих конструкциях и стенах, большие трещины в перегородках, падение печных труб, обвалы штукатурки | 12—24 | 20—40 | 4,0—6,3 |
| 9 | Разрушение зданий: большие трещины в стенах, расслоение кладки, падение некоторых участков стен | 24—48 | 40—80 | 2,5—4,0 |
| 10—12 | Большие разрушения и обвалы зданий | 48 | 80 | 2,5 |

* Медведев С. В. Инженерная сейсмология. М., Госстройиздат, 1962.

В этой таблице приведены максимальные скорости колебаний грунта $V$, полученные: *

по формуле, связывающей интенсивность сейсмики $i$ в баллах и приведенное к весу заряда расстояние $R_{пр}$ ,

$$11 - 5\lg R_{пр} \leqslant i \leqslant 12 - 5\lg R_{пр};$$

по формуле зависимости скорости по одной составляющей в спектре действия $S$ в *см/сек* от $R_{пр}$

$$S = 315 R_{пр}^{-1,5};$$

по формуле зависимости средних значений максимальной скорости колебаний грунта в спектре действия $S$ от $R_{пр}$

$$V_р = 190 R_{пр}^{-1,5},$$

или

$$V_р = K_в \sqrt{\frac{g}{\gamma b_1 \tau} R_{пр}^{-1,5}},$$

где $R_{пр} = \frac{r}{\sqrt{c}}$;

$V_р$ — максимальная скорость по радиальной составляющей, *см/сек*;
$K_в$ — эмпирический коэффициент, равный $7,5 \cdot 10^4$ *см*;
$g$ — ускорение силы тяжести, *м/сек*$^2$;
$\gamma$ — объемный вес грунта в пункте наблюдения, *кг/м*$^3$;
$\tau$ — период колебания грунта, *сек*;
$b_1$ — скорость распространения волн, *м/сек*;
$r$ — расстояние от центра взрыва, *м*;
$c$ — вес заряда, *кг*.

Эти данные относятся к средним грунтовым условиям и взрывам на открытых разработках, однако представляют интерес и для решения наших задач.

Как известно, повреждения зданий при сейсмических колебаниях зависят от их состояния. В ветхих зданиях повреждения возможны при 5 баллах; в зданиях, имеющих деформации,— при 6 баллах; в зданиях, находящихся в удовлетворительном состоянии, — при 7 баллах. На основе этого С. В. Медведев рекомендует допускаемую интенсивность сотрясений для зданий и со-

**Таблица 19.** Допускаемая интенсивность сейсмических колебаний для зданий и сооружений разной степени сохранности

| Состояние здания | Допускаемая сейсмичность, баллы | Коэффициент $K_з$ |
|---|---|---|
| Удовлетворительное | 6 | 1,00 |
| Имеются деформации | 5 | 1,60 |
| Ветхое | 4 | 2,5 |

* Медведев С. В. Оценка сейсмической безопасности при взрывах. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1967, № 5.

оружений разной сохранности принимать по табл. 19 (здесь $K_з$ — коэффициент, показывающий, как увеличивается радиус опасной сейсмической зоны для дефектных зданий по сравнению с нормальными зданиями, находящимися в удовлетворительном состоянии).

С. В. Медведев считает, что $R_{пр}$ при заданной интенсивности сейсмических колебаний для слабых грунтов увеличивается примерно до 40%, в то время как для скальных грунтов уменьшается примерно до 30—50%. Эти колебания, выражаемые коэффициентом $K_г$, примерно следующие:

| | |
|---|---|
| Скальные грунты монолитные | 0,5 |
| То же, трещиноватые | 0,7 |
| Полускальные грунты (мергели, песчаники, гипсы) | 0,8 |
| Галечники плотные | 0,9 |
| Песчанистые и глинистые грунты: | |
| при глубине грунтовых вод ниже 10 *м* | 1,0 |
| то же, 5—10 *м* | 1,2 |
| » менее 5 *м* | 1,4 |
| Болотистые грунты | 1,8 |

Приведенное расстояние $R_{пр}$ рекомендуется принимать по табл. 18 в зависимости от допустимой для данного сооружения интенсивности сейсмических колебаний. С. В. Медведев рекомендует принимать значения $R_{пр}$ для границы между зонами интенсивности сейсмических колебаний 6 и 7 баллов.

Интенсивность сейсмических колебаний в баллах по шкале при взрывах соответствует интенсивности по шкале землетрясений, так как сейсмические колебания грунтов при взрывах и землетрясениях не отличаются при одинаковых расстояниях до источника взрыва или землетрясения и одинаковых энергиях этих источников.

Однако в действительности эти расстояния обычно бывают весьма различными. Если для взрывов опасные зоны имеют радиусы в десятки и сотни метров, то для землетрясений они исчисляются километрами и десятками километров.

Из-за разных расстояний спектральный состав колебаний при взрывах и землетрясениях разнится. Для сейсмических колебаний при взрывах он более узок, чем при землетрясениях. Длиннопериодные колебания при взрывах обычно отсутствуют, поэтому их воздействия на высокие и гибкие сооружения не так опасны, как при землетрясениях. Обвалы каменных конструкций зданий или других массивных элементов при землетрясениях в значительной степени обусловлены действием длиннопериодной составляющей спектра сейсмических колебаний, которая при взрывах отсутствует. Поэтому при взрывных работах обвалов зданий почти не наблюдалось.

Меньшая продолжительность колебаний при взрывах, чем при одинаковых по балльности землетрясениях, приводит и к меньшей

раскачке зданий. Отношения амплитуд колебаний верха здания и его основания при взрывах также значительно меньшие, чем при одинаковом по балльности землетрясении. При взрывах здание может выдержать значительно большие колебания, чем при равноценных землетрясениях. В то же время преобладание при взрывах высоких частот может иногда более резко воздействовать на жесткие соединения.

Величины расстояний от очагов взрыва соизмеримы с размерами сооружений, и сейсмические воздействия по всему основанию здания, обычно более неравномерные, чем при равноценных землетрясениях, быстрее затухают по мере удаления от источников взрывов.

На основании работ С. В. Медведева можно сделать и другой вывод, что на значительную нестабильность сейсмических данных, полученных при проведении взрывных работ на экспериментальном участке, могли оказать влияние имевшие место резкие чередования разных по консистенции $B$ грунтов (от твердой при $B<0$ до текучей при $B>1$), не говоря уже о всех остальных переходных фазах этих грунтов (полутвердой, тугопластичной, мягкопластичной, текучепластичной).

Такие резкие различия во влажностных показателях грунтов площадки могли явиться дополнительной и весьма существенной причиной получения приведенных выше разноречивых на первый взгляд результатов сейсмических записей по взрывным работам.

Данные С. В. Медведева говорят о том, что влияние грунтовых условий (изменение коэффициента $K_г$ от 0,5 до 1,8) может изменять проходимость сейсмических волн в грунтах до 300—400%. Поэтому исследования, проведенные нами в 1967 г., являются первым шагом к решению поставленных задач. Безусловно, потребуется проведение большого количества исследований применительно к разным грунтовым условиям и разным технологическим схемам производства взрывных работ, прежде чем можно будет сделать окончательные обобщающие выводы.

Однако проведенные в 1967 г. исследования дают возможность сделать некоторые предварительные выводы.

Например, сводные данные этих исследований, приведенные на рис. 62, показывают максимальные горизонтальные $A_x$ и максимальные вертикальные $A_z$ амплитуды колебаний грунта на разных расстояниях $r$, замеренные приборами при выполнении взрывов разных по весу зарядов (от 10 до 3 *кг*), произведенных на разных глубинах на II и III захватках.

К сожалению, аналогичные данные по I захватке, где взрывные работы производились точно в соответствии с проектом и были получены наилучшие результаты, не представлены по указанным выше причинам.

Следует отметить, что кривые, приведенные на рис. 62, построены не по средним данным, а как огибающие все получен-

ные результаты, включая не только выполненные по проекту, но и результаты взрывов, выполненных заведомо неправильно, т. е. эти кривые, построенные по фактическим данным, приведены с определенным завышением амплитуд. На этом сводном рисунке горизонтальными линиями показаны и границы переходов из одной зоны сейсмичности (в баллах) в другую.

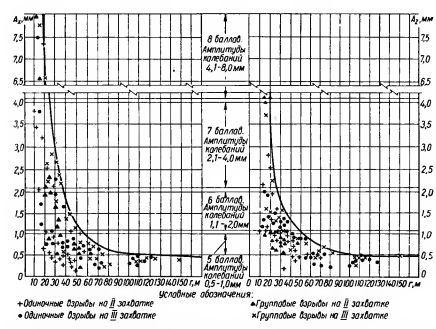



Рис. 62. Замеренные приборами максимальные горизонтальные $A_x$ и вертикальные $A_z$ амплитуды колебаний грунта на II и III захватках экспериментального дома № 1 по ул. Северной в Запорожье.

Результаты проведенных сейсмических исследований показывают также, что горизонтальные колебания грунта оказались более значительными по величине, чем вертикальные. Поэтому в дальнейшем следует стремиться снижать их величину за счет уменьшения высоты заряда и других мер.

Как упоминалось выше, работами С. В. Медведева (Академия наук СССР) установлено, что взрывы, вызывающие сейсмичность в 6 баллов, являются безопасными для зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии, так как вызывают только появление небольших трещин в штукатурке. Поэтому на графиках, показанных на рис. 62 нас интересует граница между зонами в 6 и 7 баллов, характеризующаяся амплитудами в 2,0—2,1 *мм*. Для максимальных горизонтальных амплитуд $A_x$, приведенных

на левой кривой, минимально допустимое расстояние $r$ в *м* от центра взрыва до охраняемых зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии оказывается равным 35—36 *м* (то же по данным для максимальных вертикальных амплитуд равно 25—26 *м*). Для зданий, имеющих деформации, минимальное безопасно допустимое расстояние, исходя из границ между зонами для 5 и 6 баллов, т. е. в пределах максимальных амплитуд 1,0—1,1 *мм* для горизонтальных амплитуд, оказалось 54—55 *мм*, а для вертикальных — 44—45 *м*. Все эти безопасно допустимые расстояния относятся к случаям взрывных работ, имевшим место на II и III захватках, где, повторяем, имели место существенные нарушения проектных требований. Эти нарушения заключались в том, что заряды весом в среднем 7 *кг* (с максимальными зарядами 10 *кг*) выполнялись не в трубах диаметром 150 *мм*, где они занимали высоту порядка 0,4—0,5 *м*, а в трубах значительно меньших диаметров 100—94 *мм*, где их длина увеличивалась в 2,5—3 раза и где их высота достигала 1,0—1,2 *м*, значительно увеличивая этим направленность взрывов в горизонтальном направлении.

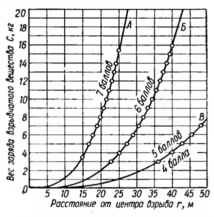



Рис. 63. Графики теоретически возможной зависимости минимально безопасных расстояний $r$ от веса взрываемых зарядов для неповрежденных зданий *А*, имеющих незначительные повреждения *Б* и ветхих *В* при ненаправленных взрывах.

На рис. 63 приводятся составленные нами теоретически возможные графики зависимости минимальных расстояний $r$ в *м* по методике проф. С. В. Медведева для случаев, когда взрывы не имеют вредной направленности. Эти графики, составленные нами в зависимости от веса зарядов в *кг* показывают, что теоретически возможны значительные снижения безопасных расстояний для зданий, находящихся в удовлетворительном состоянии $r_1$ и имеющих повреждения $r_2$: при весе заряда $C=7$ *кг* $r_1 \geqslant 18$ *м*, $r_2=31$ *м*; при $C=8$ *кг* $r_1 \geqslant 20$ *м*, $r_2 \geqslant 34$ *м*; при $C=10$ *кг* $r_1 \geqslant 23$ *м*, $r \geqslant 38$ *м*.

Одним из наиболее важных условий для широкого внедрения нового способа глубинного уплотнения является безопасность взрывных работ.

Необходимо также обеспечение 100% взрываемости всех зарядов. Это особенно важно при применении групповых взрывов с соответствующими весьма небольшими замедлениями, исчис-

ляемыми сотыми долями секунды. В то же время опыт показал, что иногда имеют место отказы зарядов взрывчатых веществ.

По правилам взрывных работ взрывная сеть обязательно дублируется. Это требование выполнялось и нами путем помещения в заряд двух электродетонаторов. Однако сеть от электродетонаторов не дублировалась и выполнялась одной парой проводов.

В то же время неровная внутренняя поверхность металлических труб во взрывных скважинах, утолщения их в местах сварки, нестандартность поперечных размеров зарядов и другие причины приводят к тому, что часто заряд погружался в трубу с большим трудом, рывками, под нажимом сверху и в несколько стадий. За счет этого вполне возможен обрыв одного из весьма слабых проводов, идущих от заряда наружу, что и имело место в трех случаях.

Поэтому по рекомендации группы вибродинамики лаборатории электронно-тензометрических исследований НИИСКа для обеспечения безотказного взрывания всех зарядов необходимо в заряд помещать две самостоятельные группы электродетонаторов с отдельными для каждой группы магистралями проводов по всей длине трубы. Подключение их в общую магистраль проводить на поверхности. При обрыве одного из проводов гарантируется работа второй группы электродетонаторов.

Для проверки взрыва всех зарядов лаборатория динамики НИИСКа (М. И. Кандыба, Г. И. Кияница) рекомендуют применять метод разрыва проводника. Для этого на каждый заряд навивают кусок провода, концы которого несколько больше, чем глубина опускания заряда. Этот провод опускается в трубу вместе с зарядом взрывчатых веществ. Обрыв провода в месте взрыва свидетельствует об отсутствии отказа. Контроль сети можно вести любым измерительным прибором (мостиком сопротивления, тестером и др.). Этот метод весьма прост и надежен.

Учитывая, что в непосредственной близости от экспериментального дома № 1 по ул. Северной на расстоянии 10 *м* от замачиваемого участка, или 15 *м* от торцовой стены, заканчивалось строительство 5-этажного крупнопанельного дома № 6, было обращено внимание на то, чтобы не подмочить неукрепленную просадочную толщу грунтов мощностью 17—18 *м* под домом № 6.

Для этого между торцами домов № 1 и 6 был изготовлен водозащитный экран глубиной 17 и протяженностью 20 *м*, состоящий из двух рядов грунтонабивных свай, размещенных на расстоянии 1 *м* с шагом между осями свай (в шахматном порядке) 1,25 *м*. Экран располагался непосредственно за торцовой контурной траншеей на расстоянии 7,5 *м* от наружной торцовой стены дома № 6.

Применение экрана полностью себя оправдало. Влажность замоченного участка не распространилась в сторону дома № 6, что подтвердилось контрольным бурением скважин. При этом

глубинное уплотнение грунта произошло только в пределах проектных габаритов, что наглядно показано на рис. 64, где видны образовавшиеся по контурным траншеям и перед грунтовым экраном явно выраженные грунтовые перепады на 125—144 *см*. На рис. 65 показан этот перепад у торцовой стороны котлована с размерами, взятыми по нивелировочным данным.

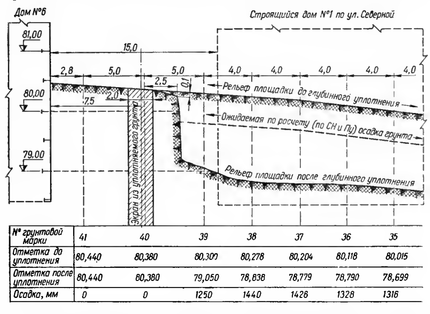
Рис. 64. Общий вид грунтового перепада в южной части уплотненного участка со стороны дома № 6.

Просадочная толща грунта хотя и уплотнялась предварительным замачиванием на глубину 17 *м*, но это замачивание было глубинным, а не поверхностным и производилось только через дренажные скважины в глубине уплотняемой толщи, а не с поверхности. Поэтому при правильном производстве работ на I захватке на поверхности котлована никогда не было воды, так как ее появление сигнализировало бы о имеющихся неполадках (о небрежности регулировщика воды). И лишь после взрывных работ на поверхности грунта I захватки временно появлялась вода, вытесненная из пор грунта в процессе его уплотнения, но через 2 дня площадка снова становилась сухой.

Перед началом экспериментальных работ, а также в процессе их проведения и после их окончания периодически контролировались распределение влажности в грунте и изменение его физико-механических свойств одновременно в разных местах на глубину до 20 *м* от поверхности грунта с исследованиями образцов грунта через каждый 1 *м* по глубине.

Начальные исходные инженерно-геологические данные по экспериментальному участку строительства дома № 1 по ул. Северной в Запорожье приведены в табл. 11, где показаны определенные до начала экспериментальных работ все основные физико-механические и в том числе влажностные показатели свойств грунта площадки на всю просадочную толщу, т. е. на глубину 18 *м* от поверхности грунта. Для большей полноценности результатов исследования проводились на большом количестве монолитов грунта с ненарушенной структурой, отобранных из специально вырытого в центре площадки шурфа (глубиной 18 *м*) через каждый 1 *м* по глубине.

В последующем в разные периоды проведения экспериментальных работ бурились контрольные скважины для определения соответствующих влажностных и других показателей грунта через каждый 1 *м* на глубину до 20 *м*. Это позволяло изучать процессы, происходящие в толще замоченного и окружающего




| № грунтовой марки | 41 | 40 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Отметка до уплотнения | 80,440 | 80,380 | 80,300 | 80,278 | 80,204 | 80,118 | 80,015 |
| Отметка после уплотнения | 80,440 | 80,380 | 79,050 | 78,838 | 78,779 | 78,790 | 78,699 |
| Осадка, мм | 0 | 0 | 1250 | 1440 | 1426 | 1328 | 1316 |

Рис. 65. Грунтовый перепад в южной части уплотняемого участка со стороны торца жилого дома № 6, защищенного водозащитным экраном из уплотненного грунта.

его грунта до и после окончания работ по глубинному уплотнению.

Остановимся вкратце на основных результатах этих исследований. В данных грунтовых условиях имел место весьма быстрый процесс осушения уплотненной разрабатываемым способом площадки. Так, например, если работы по уплотнению площадки, выполнявшиеся последовательно на трех фактически самостоятельных участках площадями 790, 714 и 740 $м^2$, были проведены в течение, примерно, одного месяца, то уже через 5 дней в центральных частях этой площадки были свободно отрыты 2 шурфа глубиной по 3 *м* каждый, и до поверхности замоченной зоны не дошли. Это свидетельствует о том, что при данном способе уплотнения при аналогичных грунтовых условиях к строительным работам по возведению зданий и сооружений можно приступать сразу после окончания работ по уплотнению.

Пробуренные через 2 недели после окончания работ по уплот-

нению контрольные буровые скважины, изготовлявшиеся без обсадных труб, показали, что поверхность замоченного грунта в пределах габаритов уплотненной площадки снизилась до глубины 9 *м*, а за пределы торцовых контурных траншей, ограниченных также экранами из уплотненного грунта, замоченная

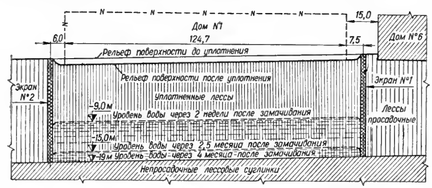



**Рис. 66. Понижение уровня воды от замачивания в разные периоды наблюдений по продольной оси уплотненного участка под домом № 1 по ул. Северной.**

зона не распространилась. Контрольные скважины пробуривались без обсадных труб для того, чтобы быстрее определить глубину залегания замоченной зоны грунта, в которой скважины, не обсаженные трубой, сразу заплывали.

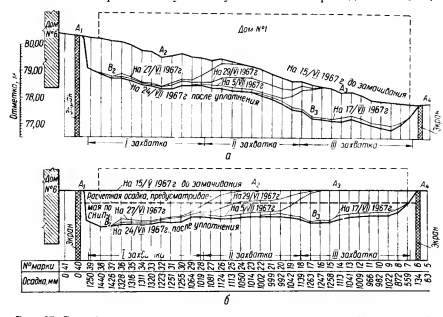
Пробуренные через 2,5 и через 4 месяца после окончания работ контрольные скважины без обсадных труб показали дальнейшее понижение поверхности замоченной зоны грунта соответственно до 15 и 19 *м*, в то время как за пределы торцовых контурных траншей, ограниченных также водозащитными экранами из уплотненного грунта, разжиженный грунт не проник (рис. 66).

Проведенный эксперимент подтверждает, что вредного влияния от предварительного замачивания на окружающие участки можно избежать при правильной организации строительных работ по уплотнению данным способом с применением в случае необходимости несложных в изготовлении водозащитных экранов из уплотненного грунта, рассчитанных на кратковременный период их действия (на период самоосушения грунтов в замоченной зоне уплотняемого участка).

Не исключена возможность случайных замачиваний грунта окружающих участков от других источников замачивания, в частности, от различных подземных коммуникаций. Следует помнить, что последующие утечки воды в грунт, не опасные для уплотненного участка, могут оказать пагубное влияние на окружающие здания, построенные на близко расположенных неуплотненных грунтах.

Результаты проведенных исследований по данному вопросу представлены в табл. 20—21 и на рис. 64—70.

Весьма интересные данные, характеризующие осадки отдельных слоев на разных глубинах уплотняемой просадочной толщи




| №марки | 41 | 40 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Осадка, мм | 0 | 0 | 1250 | 1440 | 1426 | 1328 | 1316 | 1311 | 1320 | 1223 | 1251 | 1255 | 1064 | 1019 | 1081 | 1124 | 1113 | 1050 | 1014 |

| №марки | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Осадка, мм | 1002 | 999 | 992 | 1042 | 1139 | 1263 | 1247 | 1258 | 1113 | 1041 | 1009 | 966 | 982 | 1022 | 872 | 559 | 134 | 63 |

Рис. 67. Рельеф поверхности грунта по продольной оси дома № 1 по ул. Северной до уплотнения ($A_1$, $A_2$, $A_3$, $A_4$) и после уплотнения ($A_1$, $B_2$, $B_3$, $A_4$):
*а* — в абсолютных отметках; *б* — в относительных отметках.

I захватки, приведены в табл. 21. Из этих данных ясно видна динамика распределения осадок грунта по его глубине.

Проведенные экспериментально-исследовательские работы на трех равноценных в инженерно-геологическом отношении участ-

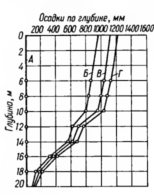



Рис. 68. Осадки глубинных реперов, характеризующие послойные осадки отдельных слоев уплотняемой толщи грунта на I захватке на глубину 20 *м*:
*А* — после окончания замачивания на 15/VI 1967 г.; *Б* — после взрывных работ на 17/VI 1967 г.; *В* — на 27/VI 1967 г. после взрывных работ на других захватках; *Г* — на 27/VII 1967 г.

**Таблица 20.** Сводные результаты нивелировочных наблюдений за осадками поверхности грунта по продольной оси участка в процессе и после глубинного уплотнения просадочного грунта

| № захватки | № поверхностной марки | Отметки поверхности до замачивания на I захватке | Осадки, *мм* | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | после замачивания на I захватке | после взрывов на I захватке | | до взрывов на II захватке | | после взрывов на II захватке | | после дополнительных взрывов на II захватке | | перед взрывами на III захватке | | после взрывов на III захватке | | после вибровыдергивания взрывных труб на III захватке | |
| | | | | марок | средние | марок | средние | марок | средние | марок | средние | марок | средние | марок | средние | марок | средние |
| За пределами III захватки | 1—3* | | | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 4 | 77,808 | 0 | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 2 | | 4 | |
| | 5 | 77,863 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 62 | 63 | 67 |
| | 6 | 77,834 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 132 | | 134 | |
| III | 7 | 77,870 | 0 | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 533 | | 559 | |
| | 8 | 77,881 | 0 | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | | 1 | | 759 | | 872 | |
| | 9 | 77,896 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 1 | | 870 | | 1022 | |
| | 10 | 77,939 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 841 | | 982 | |
| | 11 | 77,983 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 893 | | 966 | |
| | 12 | 78,145 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 43 | 0 | 67 | 863 | 945 | 1009 | 1040 |
| | 13 | 78,279 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 897 | | 1041 | |
| | 14 | 78,249 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | — | | 971 | | 1113 | |
| | 15 | 78,421 | 0 | 0 | | 0 | | 1 | | 12 | | 50 | | 1194 | | 1258 | |
| | 16 | 78,471 | 0 | 0 | | 0 | | 8 | | 58 | | 106 | | 1164 | | 1247 | |
| | 17 | 78,526 | 0 | 0 | | 3 | | 72 | | 131 | | 250 | | 1257 | | 1263 | |
| | 18 | 78,681 | 0 | 0 | | 0 | | 124 | | 321 | | 400 | | 1060 | | 1139 | |
| II | 19 | 78,653 | 0 | 0 | | 6 | | 234 | | — | | — | | 994 | | 1042 | |
| | 20 | 78,822 | 0 | 0 | 47 | 7 | 85 | 349 | 481 | 790 | 907 | 868 | 930 | 943 | 1015 | 992 | |
| | 21 | 78,967 | 0 | 0 | | 12 | | 416 | | 844 | | 932 | | 970 | | 999 | |

* Установленные марки № 1—3 и др., по которым нет замеров, были повреждены или уничтожены строителями в процессе производства работ на других объектах.

| № захватки | № поверхностной марки | Отметки поверхности до замачивания на I захватке | Осадки, *мм*: после замачивания на I захватке | после взрывов на I захватке | | до взрывов на II захватке | | после взрывов на II захватке | | после дополнительных взрывов на II захватке | | перед взрывами на III захватке | | после взрывов на III захватке | | после вибровыдергивания взрывных труб на III захватке | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | марок | среднее | марок | среднее | марок | среднее | марок | среднее | марок | среднее | марок | среднее | марок | среднее |
| II | 22 | 79,112 | 0 | +1 | 47 | 12 | 85 | 422 | 481 | 847 | 907 | 947 | 930 | 977 | 1015 | 1002 | 1046 |
| | 23 | 79,239 | 0 | 2 | | 24 | | 414 | | 879 | | 968 | | 993 | | 1014 | |
| | 24 | 79,324 | 0 | 4 | | 41 | | 445 | | 920 | | — | | 1026 | | 1050 | |
| | 25 | 79,421 | 0 | 31 | | 97 | | 550 | | 984 | | — | | 1085 | | 1113 | |
| | 26 | 79,532 | 0 | 96 | | 188 | | 680 | | 1003 | | — | | 1092 | | 1124 | |
| | 27 | 79,485 | 0 | 288 | | 381 | | 819 | | 986 | | — | | 1053 | | 1081 | |
| I | 28 | 79 540 | 0 | 516 | 1000 | 633 | 1127 | 874 | 1182 | 974 | — | — | — | 1019 | 1267 | — | — |
| | 29 | 79,592 | 0 | 734 | | 877 | | 974 | | — | | — | | 1064 | | — | |
| | 30 | 79,761 | 0 | 848 | | 1008 | | 1040 | | — | | — | | 1255 | | — | |
| | 31 | 79,658 | 0 | 895 | | 1053 | | 1081 | | — | | — | | 1251 | | — | |
| | 32 | 79,570 | 0 | 949 | | 1121 | | 1144 | | — | | — | | 1223 | | — | |
| | 33 | 79,799 | 0 | 1055 | | 1231 | | 1251 | | — | | — | | 1320 | | — | |
| | 34 | 79,817 | 0 | 1060 | | 1244 | | 1264 | | — | | — | | 1311 | | — | |
| | 35 | 80,015 | 0 | 1051 | | 1188 | | 1279 | | — | | — | | 1316 | | — | |
| | 36 | 80,118 | 0 | 1032 | | 1145 | | 1261 | | — | | — | | 1328 | | — | |
| | 37 | 80,204 | 0 | 1263 | | 1383 | | 1408 | | — | | — | | 1426 | | — | |
| | 38 | 80,278 | 0 | 1347 | | 1410 | | 1440 | | — | | — | | 1440 | | — | |
| | 39 | 80,300 | 0 | 1220 | | 1240 | | 1240 | | — | | — | | 1250 | | — | |
| За пределами I захватки | 40 | 80,380 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | — | — | — | 0 | 0 | — | — |
| | 41* | 80,440 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | — | | — | | 0 | | — | |

* Грунтовая марка № 41 примыкает к фундаменту торцовой части дома № 6 по ул. Северной.

Таблица 21. Результаты нивелировочных наблюдений за осадками отдельных слоев уплотняемой просадочной лессовой толщи на I захватке на разных глубинах

| Глубина замера, *м* | № глубинной марки | Осадки глубинных марок, *мм* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 8/VI. 1967 г. до начала замачивания | 15/VI. 1967 г. после окончания замачивания | 17/VI. 1967 г. после взрывов | 27/VI. 1967 г. | 27/VII. 1967 г. |
| 0 | МГ-0* | 0 | 0 | 949 | 1121 | 1223 |
| 6 | МГ-6 | 0 | 0 | 874 | 1044 | 1130 |
| 8 | МГ-8 | 0 | 0 | 850 | 1012 | 1088 |
| 10 | МГ-10 | 0 | 0 | 804 | 963 | 1040 |
| 12 | МГ-12 | 0 | 0 | 634 | 718 | 770 |
| 14 | МГ-14 | 0 | 0 | 580 | 650 | 690 |
| 16 | МГ-16 | 0 | 0 | 330 | 380 | 420 |
| 18 | МГ-18 | 0 | 0 | 144 | 197 | 220 |
| 20 | МГ-20 | 0 | 0 | 93 | 114 | 128 |

* МГ-0 соответствует поверхиостиой марке 32.

ках, на двух из которых были возведены большие жилые дома, подтвердили то, что применение предложенного и разрабатываемого автором в НИИСКе нового способа глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности является весьма экономным, малотрудоемким, быстрым в выполнении и, безусловно, надежным, позволяющим возводить любые ответственные здания и сооружения.

Рис. 69. Графики расхода воды при глубиииом уплотнеиии просадочиых лессовых груитов большой мощиости предварительным замачиванием:

*А* — фактический расход воды прн обычном способе для дома № 27 по Космнческому шоссе в Запорожье; *Б* — то же, прн рекомендуемой ускоренной методике на экспернментальном участке НИИСКа по Космнческому шоссе в Запорожье; *В* — то же, прн рекомендуемой ускоренной методике на строительстве дома № 1 в Запорожье.

Следует также отметить, что при строительстве экспериментального дома № 1 по ул. Северной (рис. 71) была получена экономическая эффективность в сумме 105 тыс. руб. и, в частности,

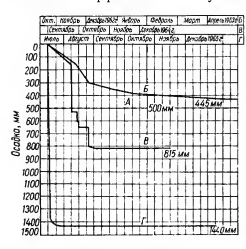



Рис. 70. Графики максимальных осадок грунта при глубинном уплотнении просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием:

*А* — ожидаемая по расчету максимальная осадка грунта по СНиПу; *Б* — фактическая максимальная осадка грунта при уплотнении замачиванием обычным способом для дома № 27 по Космическому шоссе в Запорожье; *В* — то же, при рекомендуемой ускоренной методике на экспериментальном участке НИИСКа по Космическому шоссе в Запорожье; *Г* — то же, при рекомендуемой ускоренной методике на строительстве дома № 1 в Запорожье.

сэкономлено свыше 30 *т* металла, а также изъяты значительно удорожавшие здание конструктивные мероприятия, предусматривавшиеся при строительстве этого дома на мощной толще весьма просадочных лессовых грунтов.

Рис. 71. Общий вид экспериментального дома № 1 по ул. Северной в Запорожье, возведенного на расстоянии всего 15 *м* от существующего дома.

Таким образом в течение нескольких месяцев было надежно уплотнено около 45 тыс. $м^3$ весьма просадочного лессового грунта мощностью до 20 *м*, а также построен на этом участке 120-квартирный крупнопанельный дом без конструктивных мероприятий.

## Технико-экономические показатели

Для характеристики технико-экономической эффективности ускоренного способа глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и энергией взрывов можно привести опыт проектирования оснований и фундаментов для строительства корпуса одного из заводов в Приднепровье. В проекте КиевЗНИИЭПа было разработано несколько вариантов устройства фундаментов под колонны этого цеха и определены их стоимостные показатели. Было установлено, что если стоимость уплотнения просадочных грунтов методом предварительного замачивания принять за 100%, то стоимость свайных фундаментов (для двух вариантов) составит 375—380%, а стоимость фундаментов на опускных колодцах достигнет 500%.

Кроме весьма эффективного стоимостного преимущества, способ предварительного замачивания более простой и малотрудоемкий в выполнении, требует значительно меньших затрат и почти никаких материалов по сравнению со всеми другими способами укрепления.

Лаборатория экономики строительства НИИСКа Госстроя СССР (С. М. Гинзбург, В. В. Подгаецкий) совместно с автором и при участии Запорожского отделения ГПИ Укргорстройпроекта (В. Г. Шаповаленко) составила сметно-финансовый расчет и расценки на работы по уплотнению просадочных лессовых грунтов большой мощности методом предварительного замачивания и энергией взрывов. Сметные стоимости ускоренного глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов мощностью 15, 17 и 20 *м* с дополнительным уплотнением верхних слоев просадочных грунтов грунтовой подушкой мощностью 2 *м*, изготовляемой из местного грунта послойной укаткой, колеблются от 56 до 80 коп. за 1 $м^3$ уплотненного грунта, а без поверхностной грунтовой подушки — от 40 до 60 коп.

Проектная стоимость строительных работ по ускоренному глубинному уплотнению просадочных лессовых грунтов с дополнительным поверхностным уплотнением верхних слоев грунтовой подушкой мощностью 2 *м*, изготовляемой из местного грунта послойной укаткой (включая накладные расходы и плановые накопления) приведена в табл. 22.

Опытное применение местных водозащитных экранов из уплотненного грунта вокруг уплотняемого участка при помощи двух рядов грунтонабивных свай диаметром 0,4—0,5 *м*, размещаемых в шахматном порядке на расстоянии не более 1,2—1,25 *м* в осях, подтвердило их высокую эффективность в застроенных районах. Стоимость 1 $м^2$ такого экрана составляет примерно 6 руб., включая все начисления, накладные расходы и плановые накопления (по данным Запорожстроя).

**Таблица 22. Стоимость уплотнения просадочного лессового грунта с применением дополнительного поверхностного уплотнения грунтовой подушкой мощностью 2 м, изготовляемой послойной укаткой**

| Глубина, *м* | | | Стоимость уплотнения без накладных расходов и плановых накоплений, руб. | | | Стоимость уплотнения с накладными расходами 16,7 % и плановыми накоплениями 2,5 %, руб. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| подошвы просадочных грунтов | дренажных скважин | взрывных скважин | глубинного | поверхностного | общая | глубинного | поверхностного | общая |
| *Шаг дренажных скважин (диаметром 400 мм) 3×3 м* | | | | | | | | |
| 15 | 11 | 13 | 6,23/0,48 | | 8,63/0,66 | 7,45/0,58 | | 10,32/0,80 |
| 17 | 12 | 14 | 6,67/0,45 | 2,40/1,20 | 9,07/0,61 | 7,97/0,54 | 2,87/1,44 | 10,84/0,73 |
| 20 | 14 | 16 | 7,47/0,42 | | 9,87/0,55 | 8,94/0,50 | | 11,81/0,66 |
| *Шаг дренажных скважин (диаметром 400 мм) 4×4 м* | | | | | | | | |
| 15 | 11 | 13 | 5,07/0,39 | 2,40/1,20 | 7,47/0,58 | 6,07/0,47 | 2,87/1,44 | 8,94/0,69 |
| 20 | 14 | 16 | 5,96/0,33 | | 8,36/0,47 | 7,13/0,40 | | 10,00/0,56 |

Примечания: 1. В числителе приведена стоимость уплотнения 1 $м^2$ основания, в знаменателе — 1 $м^3$ грунта.

2. Взрывных скважин — 40—60% общего количества дренажных скважин.

3. При учете стоимости 1 $м^3$ уплотняемого глубинным способом грунта в мощность уплотняемой толщи не включена грунтовая подушка мощностью 2 *м*.

По результатам производственного применения этого способа на строительстве экспериментального дома № 1 по ул. Северной Запорожский филиал ГПИ Укргорстройпроекта разработал технико-экономические показатели различных видов оснований под жилые дома на просадочных грунтах II типа грунтовых условий.

За эталон был принят 9-этажный жилой дом по типовой серии П-29-04/371-0, проектируемый на просадочных грунтах II типа грунтовых условий, с просадочной толщей 17 *м*. Для него было разработано 4 варианта устройства искусственного основания:

*1 вариант* — глубинное уплотнение просадочных грунтов предварительным замачиванием и энергией взрывов (по технологии автора). Объем уплотненного грунта 28220 $м^3$. Объем грунтовой подушки в основании фундамента, уплотняемой послойной укаткой,— 2280 $м^3$. Применение глубинного уплотнения вызывает удорожание 1 $м^2$ жилой площади на 3 р. 18 к.

*2 вариант* — буронабивные сваи с уширенной пятой (по тех-

нологии НИИСКа). Сваи приняты диаметром 500 *мм* длиной 15,7 *м* с уширением до 1600 *мм* в количестве 144 штук, объемом 356 $м^3$. Применение буронабивных свай вызвало удорожание 1 $м^2$ жилой площади на 13 р. 68 к.

*3 вариант* — термическое закрепление грунта на глубину 15 *м* от подошвы фундаментов термосваями диаметром 2*м*. Количество термосвай 165 шт. Применение термического закрепления грунтов вызывает удорожание 1 $м^2$ жилой площади в зависимости от применяемого топлива (жидкого или газообразного) на 18 р. 88 к.— 19 р. 97 к.

*4 вариант* — уплотнение грунтонабивными сваями (диаметром 500 *мм*) по новой технологии НИИ оснований. Количество свай 1216 штук. Применение этого варианта уплотнения вызывает удорожание 1 $м^2$ жилой площади на 19 р. 24 к.

## Краткие выводы

Правильный выбор способа укрепления или уплотнения грунта зависит не только от их стоимостных показателей, но и от степени предварительной изученности строительных свойств укрепляемых грунтов, которые необходимо исследовать не только в стационарных лабораториях по ограниченному количеству монолитов грунта (имеющих часто повреждения структуры и влажности при отборе и транспортировании), но и непосредственно в полевых условиях. Такие комплексные исследования дают более полноценные характеристики грунтов площадки и во многих случаях способствуют более правильному решению вопросов о целесообразности применения того или иного способа укрепления или уплотнения грунта.

В то же время имеют место случаи, когда недооценка исследований строительных свойств грунтов даже при применении дорогих способов укрепления не обеспечивает последующей надежной устойчивости возведенных зданий и сооружений. Это подтверждает ряд примеров, когда неправильное применение даже надежных способов укрепления или уплотнения грунтов приводит к неравномерным осадкам фундаментов возведенных на них зданий и сооружений с появлением в их несущих конструкциях значительных и часто опасных трещин и разрушений (в Запорожье, Никополе, Днепропетровске, Киеве и др.).

В других случаях применения способов укреплений или уплотнений грунтов, удорожающих строительство, можно было бы избежать при более полноценных исследованиях строительных свойств грунтов.

Результаты проведенных исследований и опытного строительства в натурных производственных условиях убедительно показали, что ускоренный способ глубинного уплотнения просадоч-

ных лессовых грунтов большой мощности (10—35 *м* и более) может с большой эффективностью применяться на новых незастроенных участках, а также в застроенных районах в основаниях наиболее ответственных жилых, общественных, промышленных зданий и сооружений.

При применении этого способа в застроенных районах вблизи зданий и сооружений, возведенных на неукрепленных просадочных грунтах, с целью надежной защиты зданий от распространения воды вокруг уплотняемых участков следует применять местные водозащитные экраны на всю толщу просадочных грунтов, изготовляемые из двух рядов грунтонабивных свай (по новой технологии НИИ оснований), размещаемых в шахматном порядке на расстоянии 1,25 *м* в осях при диаметре сердечника 0,5—0,6 *м*. Можно применять и другие типы водозащитных экранов (глиняные, бетонные, пленочные, временные шпунтовые и др.), если это технически или экономически оправдано.

Этот способ рекомендуется автором к применению в ирригационном строительстве для устройства магистральных и распределительных каналов в просадочных лессовых грунтах большой мощности.

При обычных способах устройства оросительных каналов в просадочных лессовых грунтах II типа неизбежно появление просадок, осложняющих завершение строительства, а также не обеспечивается бесперебойная эксплуатация каналов. Это усугубляется и тем, что естественное, стихийное образование просадок в грунте от обычного замачивания и от воздействия только собственного веса грунта и воды происходит весьма неравномерно по трассе канала в разные по времени периоды, что нарушает работу всей системы орошения, а также вызывает дополнительные затраты на частные исправления дефектных участков канала. Особенно нежелательно это для магистральных каналов.

В 1968 г. было опубликовано сообщение * о том, что Ташкентское специализированное управление треста Союзвзрывпром успешно применяет при строительстве ирригационных каналов массовые взрывы на выброс. За последние годы таким методом было проложено более 50 *км* различных каналов. Объем выброшенного лессового грунта составил 7 млн. $м^3$. При сооружении подводящего канала в Каракалпакской АССР, предназначенного для орошения пустующих земель, велись особоточные взрывные работы. Благодаря этому значительно сократились сроки строительства канала, высвободилось большое количество землеройных механизмов. Вторую очередь Аму-Бухарского канала также было предусмотрено прокладывать при помощи взрывов. Эти

* Ахметов И. Взрывы строят каналы. «Строительная газета» от 28 января 1968 г.

работы велись только с целью ускорения и упрощения строительства каналов, не оказывая никакого влияния на уплотнение подстилающих просадочных лессовых грунтов.

Однако согласно этому же сообщению было указано, что инж. С. Перепелюк (проектный отдел Ташкентского специализированного управления треста Союзвзрывпром) совместно со специалистами Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации разработал новый ускоренный метод уплотнения грунта взрывами. Этот способ заключается в том, что на участке, где должно производиться уплотнение грунта, на глубину 0,5 *м* закладываются заряды. «Потом эта обвалованная площадка заливается метровым слоем воды. В результате взрыва ударная волна приводит грунт в пластическое плывунообразное состояние. Под давлением сил, развиваемых взрывом, а также собственного веса грунт уплотняется. Выброса земли не происходит. Внешне видно лишь резкое колебание водной поверхности. Через несколько часов воду спускают». На каждый 1 $м^2$ было израсходовано 600—900 *г* взрывчатки.

Однако и этот способ фактически не относится к глубинному уплотнению, так как поверхностные взрывы при применении поверхностного замачивания могут уплотнять только небольшие верхние слои грунта.

В опубликованной в конце 1967 г. работе П. Л. Иванова *, посвященной уплотнению несвязных (песчаных) грунтов пишется: «...Попытка использовать поверхностные заряды для уплотнения намытых в воду пылеватых песков и легких супесей была предпринята в 1966 г. при возведении намывной территории Васильевского острова Ленинграда. Однако... эффект уплотнения зарядами весом от 5 до 15 *кг* был незначителен (относительная осадка слоя толщиной от 2,5 до 3 *м* была меньше 1%), а воронки диаметром от 3,5 до 6,0 *м* сохранили свою форму, не заполняясь грунтом...»

Экспериментальные исследования автора, проведенные в 1964 г. в г. Запорожье на опытной площадке, также подтвердили малую эффективность неглубоких взрывов.

Поэтому предложение, осуществленное в Средней Азии по применению неглубоких, почти поверхностных взрывов в залитом сверху котловане, очевидно, является прогрессивным и перспективным только для просадочных грунтов I типа, т. е. небольшой мощности, залегающих на глубину не более 8—10 *м*, в которых глубинные просадки от собственного веса просадочной толщи не превышают 5 *см* и где можно ограничиться лишь поверхностным уплотнением.

При наличии просадочных лессовых грунтов большой мощности (более 10 *м*), т. е. грунтов II типа по условиям просадоч-

* Иванов П. Л. Уплотнение несвязаных грунтов взрывами. Л., Стройиздат, 1967, стр. 118.

ности, применение ташкентского способа поверхностных взрывов бесполезно. Этот способ поверхностного уплотнения не исключает возможности последующих глубинных просадок отдельных участков каналов на величину 0,5—1,5 *м* и более в зависимости от мощности подстилающих просадочных грунтов. Такие местные просадки неизбежно приведут к разрушениям либо к существенным нарушениям нормальной эксплуатации каналов.

Чтобы обеспечить надежное уплотнение всей толщи просадочных лессовых грунтов большой мощности и, одновременно с этим, намного ускорить возведение оросительных каналов в просадочных грунтах, и в первую очередь магистральных каналов, в 1967 г. автором был предложен новый ускоренный способ их строительства *, основанный на способе глубинного уплотнения по авторскому свидетельству № 183131.

Суть предлагаемого способа, применительно к ирригационному строительству, заключается в том, что уплотнение замачиванием подстилающих просадочных грунтов в основании магистральных и распределительных каналов производится не с поверхности или только в верхних слоях, а одновременно по всей глубине просадочной толщи с постепенным продвижением вперед по мере изготовления отдельных участков (захваток) каналов. По продольной оси каждого участка канала изготовляют в один или несколько рядов дренажные скважины диаметром 0,2—0,5 *м* глубиной на $(0,6 \div 0,7)h$, где $h$ — общая мощность подстилающих просадочных лессовых грунтов. Расстояние между скважинами принимается 3—6 *м* в зависимости от мощности и фильтрационных свойств уплотняемых грунтов.

Через дренажные скважины заливают воду в грунт до заполнения пор водой в пределах габаритов канала по ширине, а при необходимости — включая и габариты ограждающих их бровок. В таких случаях изготовление контурных траншей не обязательно.

В процессе или по окончании глубинного замачивания нижних слоев просадочной толщи $h$ уплотняемых грунтов, на глубину $(0,6 \div 0,8)h$ опускают заряды (вибропогружением или вдавливанием) и производят взрывы после насыщения водой всей подстилающей просадочной толщи.

Такое глубинное уплотнение всей просадочной толщи лессовых грунтов обеспечивает надежную и бесперебойную работу построенных каналов.

В заключение следует отметить, что, согласно опубликованным в 1967 г. данным **, взрывы для уплотнения рыхлых песчаных грунтов впервые были применены Н. Н. Масловым и Н. А. Филимоновым в 1936 г. на строительстве Верхнесвирской

* Заявка № 1179326/29-14 от 31 июля 1967 г.

** Иванов П. Л. Уплотнение несвязных грунтов взрывами. Л., Стройиздат, 1967.

гидратации *. В последующие годы уплотнение насыпных песчаных грунтов производилось на нескольких гидротехнических сооружениях: в 1941 г.— в США на плотинах Франклина и Денисона; в 1951—1955 гг.— в СССР на Волжской, Горьковской и Каховской ГЭС; в 1960—1961 гг.— в Пакистане и США; в 1964—1965 гг.— в СССР в Новороссийске в основании мола и стенки пирса; в 1966 г.— в СССР в Ленинграде при подводном намыве.

Впервые взрывы для уплотнения просадочных лессовых грунтов были применены автором в 1964 г. в Запорожье.

Предложенное и осуществленное Н. Н. Масловым и Н. А. Филимоновым взрывное уплотнение рыхлых песчаных грунтов и предложенный и осуществленный автором ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности оказались весьма эффективными средствами для значительного увеличения плотности оснований и их деформативности при последующем воздействии на них статических и динамических нагрузок. Основной особенностью этих способов является использование весьма мощного и очень дешевого энергетического источника — взрывчатого вещества.

Действие взрыва на окружающую среду обусловлено его большой мощностью. Так, например, по данным П. Л. Иванова, Р. Коула ** и Г. М. Ляхова *** при взрыве всего 1 *кг* заряда развивается мощность, равноценная мощности достаточно крупной городской электростанции, но проявляется она в течение очень малого времени. При этом импульсное да́вление в центре взрыва достигает 50—150 тыс. *атм* на окружающий грунт. Образующиеся при взрыве волны давления в грунте вызывают резкое и весьма значительное скачкообразное возрастание напряжений в грунте и, как следствие, возрастание плотности и значительные преобразования с необратимыми деформациями грунта.

При этом следует отметить, что уплотнение грунтов взрывами вызывает основные изменения структуры грунта на расстояниях, сравнительно небольших от центра взрыва и поддающихся регулированию, что представляет большую практическую ценность и было заложено в основу предложенного автором способа уплотнения, так как позволяет применять его вблизи построенных зданий и сооружений.

Изложенными выше обстоятельствами объясняется значительная экономическая эффективность, техническая целесообразность и малая трудоемкость ускоренного способа глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности.

---

* Маслов Н. Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. М., Госэнергоиздат, 1959.

** Коул Р Подводные взрывы. М., ИЛ. 1950.

*** Ляхов Г. М. Основы динамики взрывов в грунтах и жидких средах. М., «Недра», 1964.

**Приложение 1**

# КРАТКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ УСКОРЕННОГО СПОСОБА ГЛУБИННОГО УПЛОТНЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ЗАМАЧИВАНИЕМ И ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВОВ

## Общие положения

1. Краткие рекомендации распространяются на проектирование и производство строительно-монтажных работ по применению ускоренного способа глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности предварительным замачиванием и взрывами *.

2. В соответствии со СНиП II-Б.2—62*, п. 1.6 грунтовые условия строительных площадок в зависимости от возможности проявления просадки грунта от его собственного веса при замачивании подразделяются на два типа:

I тип, для которых просадка грунта от собственного веса практически отсутствует или не превышает 5 *см*;

II тип, для которых возможна просадка грунтов от собственного веса и величина ее превышает 5 *см*.

Просадка от собственного веса грунта при его замачивании учитывается от уровня природного рельефа, а при планировке территории срезкой — от планировочной отметки.

Возможная величина просадки грунта от его собственного веса определяется по формуле

$$S = \sum_{1}^{n} \delta_{\text{пр}\,i} H_i m,$$

где $\delta_{\text{пр}i}$ — относительная просадочность, определяемая для каждого слоя грунта в пределах просадочной толщи при природном давлении $P_{\delta_i}$ в середине рассматриваемого слоя;

$H_i$ — толщина того же слоя грунта, *см*;

$m$ — коэффициент условий работы основания;

$n$ — число слоев, на которое разделена просадочная толща.

Суммирование по этой формуле производится в пределах всей просадочной толщи, начиная с некоторой глубины, на которой природное давление превышает «начальное давление».

За величину начального давления принимается минимальное давление, при котором происходит просадка грунта от собственного веса при замачивании. При давлении меньше начального просадка грунта практически отсутствует.

Величина природного давления $P_{\delta_i}$ определяется по формуле:

$$P_{\delta_i} = \gamma_c h,$$

---

* Авторское свидетельство на изобретение № 183131, выданное в 1966 г. с приоритетом от 5 апреля 1963 г. (автор И. М. Литвинов, НИИСК Госстроя СССР).

где $\gamma_c$ — средневзвешенное значение объемного веса вышележащего грунта в водонасыщенном состоянии, $т/м^3$;

$h$ — глубина залегания середины рассматриваемого слоя грунта от природного рельефа, при срезке — от планировочной отметки, *м*.

Ликвидация просадочных свойств в толще грунта при обычном способе замачивания происходит только с той глубины, где природное давление превышает начальное давление.

3. Известный способ уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием (см. рис. 44, *а*), весьма перспективный для строительства в новых районах и на площадках, удаленных от уже построенных зданий, имеет ограниченные возможности и часто практически недопустим для применения вблизи застроенных участков, где вследствие неизбежного последующего распространения зоны увлажнения на окружающие незамачиваемые массивы грунта могут иметь место значительные повреждения и деформации. Кроме того, происходящие при этом процессы самоуплотнения просадочной толщи грунта не являются полноценными, так как при последующем приложении нагрузки от построенных зданий и сооружений уплотнение грунта продолжается с проявлением соответствующих дополнительных осадок.

4. Применение нового ускоренного способа глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности (см. рис. 44, *б*) позволяет во много раз ускорять процессы глубинного уплотнения грунта по всей его толще на глубину 10—35 *м* и более, значительно повышая при этом степень плотности уплотняемых грунтов, обеспечивая отсутствие последующих дополнительных осадок от возводимых на них любых по степени ответственности зданий и сооружений. При этом в значительной мере снижается вредное влияние замачиваемого при уплотнении участка на окружающие просадочные грунты с построенными на них зданиями и сооружениями. Этот способ позволяет уплотнять только те участки, которые требуются проектом, в пределах создаваемых заранее основных осадочных швов (контурных траншей), заменяющих или сводящих к минимуму количество произвольно образующихся в грунте трещин. Это достигается путем устранения сил связи между верхними зонами грунтов замачиваемых и незамачиваемых участков (на стыке уплотняемых и неуплотняемых зон), за счет создания соответствующих контурных траншей и производства глубинных взрывов в нижней части замоченной толщи просадочного грунта после достижения им влажности, превышающей предел текучести. Глубинные взрывы, передающие резкие гидродинамические воздействия на приведенный в неустойчивое состояние грунт, еще обладающий просадочными свойствами, но уже ослабленный водой (до текучей консистенции), вызывают его интенсивное уплотнение, сопровождающееся резким понижением поверхности грунта с быстро затухающим процессом уплотнения замоченного массива. Взрывы, производимые в водонасыщенной до текучей консистенции грунтовой массе, камуфлетных полостей не образуют.

На схеме уплотнения просадочных лессовых грунтов предлагаемым способом (см. рис. 44, *б*) показано, что напряженное состояние в грунте по сечению I—I при отсутствии контурной траншеи *Д* в верхней части грунта имело бы при просадке эпюру вертикальных сдвигающих напряжений, ограниченную кривой *ЕЖЗ*. При наличии контурной траншеи эта эпюра будет иметь вид $E_0ЖЗ$, в результате чего уплотняемый участок получит возможность свободно перемещаться вниз по вертикальному сечению I—I за счет отсутствия сил связи между грунтом замоченного и окружающих незамоченных участков в верхней зоне сопряжения. Глубинные взрывы следует производить после заливки через дренажные скважины или глубинным инъектированием расчетного количества воды, обеспечивающего заполнение пор всей толщи уплотняемого массива грунта примерно на 90—100% с учетом уже имеющейся в порах воды.

5. Данный способ рекомендуется к применению на незастроенных участках, а также в застроенных районах для ускоренного глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности при проектировании и строительстве разнообразных по степени ответственности зданий и сооружений

любой этажности, в том числе высотных, но с обязательным учетом данных, приведенных в книге.

6. Весьма эффективное применение этот способ может найти в ирригационном строительстве и, в частности, при возведении регулирующих бассейнов-накопителей, а также магистральных и распределительных каналов.

7. При применении рекомендуемого способа следует учитывать:

инженерно-геологические условия подлежащей уплотнению площадки и, в первую очередь, размеры просадочной толщи, величина которой по глубине (от поверхности земли) может колебаться примерно от 10 до 35 *м* и более; фильтрационные свойства подлежащих уплотнению грунтов; характер подстилающих непросадочных грунтов (обладающих хорошими фильтрационными свойствами или водоупорных); глубину залегания уровня грунтовых вод; уклоны поверхностного рельефа и подстилающих непросадочных грунтов и др.;

расположение вокруг уплотняемого участка построенных зданий и сооружений и степень их сохранности (нормальных или поврежденных, ветхих, аварийных); подземных коммуникаций; различных траншей и выемок в грунте; наличия неустойчивых или оползневых склонов и другие специфические особенности. Эти данные необходимы для выбора величин зарядов взрывчатого вещества в соответствии с материалами, приведенными на стр. 142—147 и для выявления степени целесообразности применения в случае необходимости местных водо- или сейсмозащитных экранов.

## Проектирование

8. Просадочные грунты необходимо уплотнять рекомендуемым способом только по специально разработанному проекту.

Исходными материалами для разработки проекта уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и энергией взрывов служат те же материалы, что и для обычного способа уплотнения предварительным замачиванием.

9. Рабочий проект должен содержать:

пояснительную записку;

выкопировку из ситуационного генплана города или строительства с нанесением подводящего водопровода;

генплан застройки в масштабе 1 : 500 с обозначением площадки, подлежащей уплотнению, и нанесенными на план габаритами строящихся зданий, подземных коммуникаций и подводящего водопровода (см. рис. 50);

план разбивки участка на захватки в удобном масштабе (от 1 : 500 до 1 : 200) с обозначением подводящего трубопровода и размещения дренажных и взрывных скважин (см. рис. 51);

планы отдельных захваток с увязкой последующих захваток и нанесением подводящего и разводящего трубопроводов по сетке дренажных скважин (см. рис. 52);

чертежи инвентарных элементов, изготовленных из металлических труб или других материалов и, в частности, разводящих элементов, оголовников дренажных скважин с опорами для разводящего трубопровода и др. (см. рис. 53, 54);

описание устройства взрывных скважин и упаковки зарядов (желательно применять заряды с максимальным объемным весом взрывчатого водостойкого вещества);

план размещения поверхностных и, в случае необходимости, глубинных грунтовых нивелировочных марок и их конструкций;

объемы работ и сметы;

проект организации работ.

10. Проектом организации необходимо учитывать следующую технологическую последовательность производства основных видов работ:

выполнение комплексов работ, связанных с подготовкой площадки к замачиванию и взрывным работам;

замачивание площадки по захваткам;

производство взрывных работ по захваткам;

уплотнение верхнего недостаточно уплотненного слоя грунта (устройство грунтовой подушки) послойной укаткой.

11. Технологическая последовательность комплекса работ по подготовке площадки к уплотнению должна приниматься в соответствии с предварительно разработанным и принятым календарным графиком производства работ или соответствующей циклограммой примерно в такой последовательности:

устройство подводящего трубопровода с установкой у каждой захватки двух последовательно расположенных (для контроля) водомеров;

срезка верхнего растительного слоя грунта, очистка и планировка площадки бульдозером;

изготовление ограждения, обноски и разбивка основных габаритов строящегося здания, захваток по уплотнению, мест изготовления дренажных и взрывных скважин и контурных траншей;

бурение дренажных скважин и доставка оголовников;

установка в горловинах скважин металлических оголовников и труб для взрывных скважин в случае размещения их за пределами дренажных скважин;

засыпка дренажных скважин чистым шлаком, щебнем, чистым песком или другим местным хорошо дренирующим материалом;

установка в грунт инвентарных труб для взрывных скважин вдавливанием, вибропогружением или погружением с подмывом, которое можно производить в процессе замачивания, если это не нарушит производства работ, или с применением соответствующих механизмов, если взрывные скважины не совмещаются с дренажными;

доставка поверхностных и глубинных грунтовых марок и инвентарных элементов разводящего трубопровода;

установка поверхностных и устройство глубинных грунтовых марок;

изготовление контурных траншей;

монтаж инвентарных элементов разводящего трубопровода с подключением его к подводящему трубопроводу (перед водомерами) гибкими соединениями;

нивелировка поверхности площадки и окружающей ее территории по маркам до начала замачивания;

замачивание просадочной толщи грунта через дренажные скважины с наблюдениями за расходом заливаемой в грунт воды по водомерам через каждые 12 *ч*;

нивелировка по грунтовым маркам в процессе замачивания и перед взрывами на уплотняемой захватке и на окружающей территории;

установка зарядов и производство взрывов на захватке;

вибровыдергивание взрывных обсадных труб из мест производства взрывов по захваткам;

демонтаж инвентарных элементов разводящего трубопровода и оголовников на захватке и нивелировка по маркам после вибровыдергивания взрывных труб;

отбор проб на влажность и плотность уплотненного грунта после окончания работ по уплотнению на всех захватках, нивелировка по маркам всего участка и демонтаж подводящего трубопровода и марок на участке;

дополнительное уплотнение верхнего слоя грунта путем устройства грунтовой подушки толщиной 2 *м* из местного грунта, изготовляемой послойной укаткой или уплотнением тяжелыми трамбовками.

12. При необходимости уплотнения просадочных грунтов большой мощности в застроенных районах, когда требуется максимально сократить распространение воды вокруг уплотняемых участков, предусматривается применение местных водозащитных экранов на всю толщу просадочных грунтов, изготовляемых из двух рядов грунтонабивных свай, размещаемых в шахматном порядке на расстоянии 1,2—1,25 *м* в осях.

13. Замачивание подлежащей уплотнению просадочной толщи лессовых грунтов следует предусматривать только через дренажные скважины, изготовляемые любым механизированным способом. Глубину и шаг дренажных скважин необходимо назначать в зависимости от коэффициентов фильтрации увлажняемого грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях с таким расчетом, чтобы время, необходимое для замачивания просадочной толщи грунта до нижележащего водоупорного горизонта, было примерно равным времени увлажнения промежутков грунта между скважинами. Обычно расстояние между дренажными скважинами принимается от 3 до 5 *м* по их осям при диаметре 400—500 *мм* и глубине порядка 65—70% от общей мощности просадочных грунтов, считая от поверхности до залегания кровли подстилающих непросадочных грунтов. При увеличении расстояния между дренажными скважинами глубина их должна уменьшаться, однако это ведет к удлинению процесса замачивания.

14. Для верхних частей дренажных скважин следует проектом предусматривать установку инвентарных оголовников из отрезков труб длиной 500—600 *мм* и диаметром 400 *мм*. Инвентарные оголовники, помимо защиты скважин от размывания, являются опорами для инвентарных секций разводящего трубопровода. Оголовники могут изготовляться из бракованных металлических труб или сварными из листовой стали (см. рис. 53).

15. Прорезку грунта для отделения замачиваемых массивов от незамачиваемых (изготовление контурных траншей) следует делать на глубину 4—6 *м*, стремясь прорезать в пределах этих глубин имеющиеся плотные прослойки грунтов. Ширина контурных траншей должна быть минимально возможной, порядка 0,2—0,5 *м*. Расстояние от крайнего ряда дренажных скважин до контурной траншеи должно составлять 0,5—0,6 $b$, где $b$ — расстояние между осями дренажных скважин.

При проектировании контурных траншей по периметру замачиваемого участка не рекомендуется применять острые и прямые углы в сопряжениях траншей, их необходимо по возможности округлять или скашивать до сопряжений под тупыми углами.

В тресте Запорожстроймеханизация строительно-монтажного комбината Запорожстрой разработана и изготовлена новая землеройная машина, обеспечивающая изготовление 20 *м* контурной траншеи в 1 *ч* (глубиной 6 и шириной 0,32—0,4 *м*) (см. рис. 55). В основу этой машины взят экскаватор ЭТУ-353 с удлиненной ковшовой рамой и специально изготовленным навесным оборудованием для прорезки глубоких траншей.

16. Необходимое количество воды следует рассчитывать по показателям пористости и природной влажности неуплотненного грунта, исходя из расчета суммарного заполнения водой 90—100% пор замачиваемой толщи просадочного грунта в пределах уплотняемого участка, ограниченного контурными траншеями. Избыток воды вреден, так как увеличивается зона увлажнения из-за распространения воды за пределы замачиваемого участка.

Для учета расхода воды, заливаемой в дренажные скважины, в проекте необходимо предусматривать установку попарно монтируемых водомеров. Замачивание через котлован, углубленный дренажными скважинами, ведет к нерегулируемым расходам воды и поэтому может допускаться только при отсутствии близко расположенных зданий, при значительных по размерам уплотняемых участках и при уплотнении грунтов данным способом в ирригационном строительстве.

В табл. 23 приведены примерные расчетные расходы воды и времени, потребного для глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов при разных мощностях уплотняемой просадочной толщи, разных расстояниях между дренажными скважинами и разной фильтрационной способности уплотняемого грунта. Как видно из этой таблицы, и, что подтверждается опытными данными, при применении этого ускоренного способа уплотнения общая продолжительность замачивания по каждой захватке или по всей площадке в целом может быть осуществлена в очень короткие сроки, т. е. в пределах от 2 до 6 суток в зависимости от геологических условий, геотехнических и, в част-

**Таблица 23. Расчетные расходы воды и времеии, иеобходимые для глубииного уплотнения просадочных лессовых груитов предварительным замачиванием и энергией взрывов**

| Глубнна просадочной толщи, *м* | | Расчетный расход воды прн заполненнн на 40% общего объема уплотненного грунта, *м*³ | | | | Время (в чнслнтеле—в часах, в знаменателе—в сутках), потребное на замачивание прн шаге | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 3×3=9 *м*² | | | | 4×4=16 *м*² | | | | 5×5=25 *м*² | | |
| | | | | | | Поглощаемость дренажных скважин, *м*³/*ч* | | | | | | | | | | |
| общая | укрепленная | на 1 *м*² | на 9 *м*² | на 16 *м*² | на 25 *м*² | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| 10 | 7,5 | 3 | 27 | 48 | 75 | 27/1,3 | 18/0,75 | 13,5/0,56 | 10,8/0,42 | 48/2,0 | 32/1,33 | 24/1,0 | 19,2/0,8 | 50/2,1 | 37,5/1,56 | 30/1,25 |
| 15 | 12,5 | 5 | 45 | 80 | 125 | 45/1,87 | 30/1,25 | 22,6/0,94 | 18/0,75 | 80/3,33 | 53,3/2,22 | 40/1,66 | 32/1,33 | 83,3/3,47 | 62,5/2,6 | 50/2,1 |
| 20 | 17,5 | 7 | 63 | 112 | 175 | 63/2,6 | 42/1,75 | 31,5/1,31 | 25,2/1,05 | 112/4,66 | 75/3,13 | 56/2,33 | 45/1,87 | 117/4,81 | 87,5/3,64 | 70/2,91 |
| 25 | 22,5 | 9 | 81 | 144 | 225 | 81/3,4 | 54/2,25 | 40,5/1,7 | 32,5/1,4 | 144/6 | 96/4 | 72/3 | 57,7/2,4 | 150/6,25 | 112,5/4,27 | 90/3,75 |
| 30 | 27,5 | 11 | 99 | 176 | 275 | 99/4,12 | 66/2,75 | 45,5/1,9 | 32,7/1,4 | 176/7,33 | 117,5/4,85 | 88/3,7 | 70,5/2,90 | 183/7,6 | 137,5/5,73 | 110/4,21 |

ности, фильтрационных характеристик уплотняемых грунтов, их мощности, расстояиия между скважинами и иаличия воды, иеобходимой для замачиваиия.

17. Учитывая значительную потребность в воде при замачивании, а также необходимость миогократного использования типового инвентаря, замачиваемый участок разбивается на захватки, количество которых зависит от обеспечения строительства буровой техникой, водой и другими иеобходимыми условиями. По окончании работ по замачиванию первой захватки инвеитарные элементы (секции разводящих трубопроводов и оголовники скважин) демонтируют и переносят на следующую захватку.

18. Нумерацию захваток для последовательиости производства работ следует начинать с повышенной части подстилающего водоупорного слоя грунта с таким расчетом, что часть влаги будет перемещаться на соседнюю захватку по ходу замачиваиия.

19. Подачу воды в дренажные скважииы нужно предусматривать через инвентарные элемеиты, состоящие из труб диаметром 25—100 *мм* с гибкими соедииеииями и вентилями над каждой скважиной (см. рис. 54).

20. Иивеитарные элементы разводящего трубопровода подсоединяют к подводящему трубопроводу на площадке гибкими элемеитами с учетом последующей просадки груита во время взрывных работ. Подводящий трубопровод, также подключаемый к основному на гибких соединениях, удобнее монтировать в пределах замачиваемого участка.

21. Инвентарные трубы для взрывиых скважин проектом должны предусматриваться металлическими цельнотянутыми (без швов) диаметром 150 *мм* с плотно иавареииым снизу плоским или заостреииым (что более желательно) дном. Место присоединения дна не должно пропускать в трубу воды из замачиваемого грунта. После первого взрыва разорванная часть трубы (обычно меиее 1 *м*) отрезается, и вместо нее приваривается равновеликий наконечник; при этом особое внимание должно быть обращено на то, чтобы места приварки иаконечника с дном обеспечивали полную водонепроницаемость и чтобы не было внутренних наплывов сварки, мешающих погружению зарядов в трубы.

22. Расстояние между взрывными скважинами следует предусматривать, исходя из местных условий (мощности уплотняемой просадочной толщи и др.), размещая их по сетке или в шахматном порядке на расстоянии 4—6 *м*. Глубина этих скважин должна быть не менее глубины дренажных скважин при совмещенной их установке или на 1—2 *м* глубже — при раздельной установке.

Глубина заложения нижней части зарядов, опускаемых в толщу полностью насыщенного водой грунта, доведенного до текучей консистенции, должна быть от 0,65 до 0,75 $h$, где $h$ — мощность уплотняемой просадочной толщи.

23. Вес зарядов для взрывных скважин назначается по расчету в зависимости от мощности уплотняемой просадочной толщи, расстояний между взрывными скважинами и, главное, от размещения окружающих уплотняемую площадку построенных зданий и сооружений и технического их состояния.

24. Для укрепляемых участков, расположенных на достаточно безопасных расстояниях от окружающих построенных зданий, удобно применять заряды весом 5, 6, 7, 8 *кг* в трубах с внутренним диаметром 150 *мм*. Размеры каждого килограмма заряда по высоте приведены в табл. 24.

**Таблица 24. Рекомендуемые размеры 1 кг заряда по высоте в зависимости от его объемного веса (для взрывных труб диаметром 150 мм)**

| Объемный вес заряда, *г/см*³ | Размер 1 *кг* заряда по высоте, *см*, при диаметре заряда, *мм* | | Объемный вес заряда, *г/см*³ | Размер 1 *кг* заряда по высоте, *см*, при диаметре заряда, *мм* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 140 | 130 | | 140 | 130 |
| 1,6 | 4,1 | 4,7 | 1,1 | 5,9 | 6,9 |
| 1,5 | 4,3 | 5,0 | 1,0 | 6,5 | 7,5 |
| 1,4 | 4,6 | 5,4 | 0,9 | 7,2 | 8,3 |
| 1,3 | 5,0 | 5,8 | 0,8 | 8,1 | 9,4 |
| 1,2 | 5,4 | 6,3 | | | |

Для зарядов весом 5—8 *кг* высоту приведенных размеров следует увеличить в 5—8 раз. Например, для заряда весом 7 *кг* при объемном весе взрывчатых веществ 1,2 *г/см*³ и диаметре заряда 130 *мм* его высота составит $6{,}3 \cdot 7 = 44{,}1$ *см*.

25. Минимальные расстояния от взрывных скважин до окружающих зданий зависят от многих факторов и определяются расчетом или данными, приведенными на стр. 142—147.

26. Для обеспечения безотказного взрывания всех зарядов взрывчатых веществ необходимо предусматривать проектом две самостоятельные группы электродетонаторов с отдельными для каждой группы магистралями проводов по всей глубине скважин с выводом их на поверхность. Подключать их в общую магистраль следует на поверхности. В случае возможного обрыва одного провода гарантируется работа второй группы электродетонаторов.

27. Для проверки взрыва всех зарядов следует применять метод разрыва проводника *. При этом на каждый заряд навивают кусок провода, концы которого выведены на поверхность. Обрыв провода в месте взрыва свидетельствует об отсутствии отказа (контролируется мостиком сопротивления, тестером и др.). Этот метод контроля весьма прост и надежен.

28. В проекте необходимо предусматривать мероприятия по последующему контролю фактической степени уплотнения просадочного грунта на данном участке путем проведения нивелировочных наблюдений за величинами осадок поверхности грунта.

---

* Предложение М. И. Кандыбы и Г. И. Кляницы (НИИСК, Киев).

Для нивелировочных наблюдений за осадками поверхности грунта на замачиваемом участке и окружающей его территории (на 30—50 *м* за контурными траншеями) должна быть предусмотрена установка не менее одного продольного и двух поперечных створов поверхностных марок, располагаемых на расстоянии 4—5 *м*, избегая совмещения их с дренажными и взрывными скважинами.

Поверхностная грунтовая марка представляет собой арматурный стержень длиной 700—1000 и диаметром 18—20 *мм* (желательно периодического профиля), забиваемый в грунт либо закрепляемый в небольших бетонных массивах на глубине 0,5—0,6 *м*.

29. Помимо нивелировочного контроля, проектом нужно предусматривать дополнительные контрольные мероприятия по установлению фактической степени уплотнения грунта на данном участке путем изготовления нескольких геологических выработок (шурфов или скважин) для последующей проверки фактических показателей: влажности, пористости и просадочности уплотненного грунта по всей его глубине.

30. Кроме работ по глубинному уплотнению просадочных грунтов большой мощности, проектом следует предусматривать дополнительное уплотнение верхних слоев просадочных грунтов путем изготовления грунтовой подушки из местного грунта мощностью 2 *м* послойной укаткой с учетом соответствующих требований СНиП II-Б.2—62 и «Указаний по устройству грунтовых подушек и обратных засыпок котлованов с послойной укаткой на просадочных грунтах (РСН 142—65)», утвержденных Госстроем УССР, и других нормативных материалов.

## Производство работ

31. Перед началом работ строительная площадка должна быть обеспечена необходимой проектной документацией и иметь следующие механизмы и инвентарь:

агрегаты для бурения дренажных скважин диаметром 400—500 *мм* и глубиной до 15—16 *м*;

агрегат для изготовления контурных траншей глубиной до 6 и шириной 0,2—0,4 *м*, но не более 0,5 *м* (по типу канавокопателя, изготовленного на комбинате Запорожстрой);

агрегат для вибропогружения в грунт или задавливания с подмывом пустых герметически закрытых снизу полуинвентарных металлических труб диаметром 150 *мм* для последующего размещения в них зарядов взрывчатого вещества. Для данной цели можно применять самоходные 16-тонные краны на гусеничном (Э-801) или пневматическом (К-161) ходу со стрелой вылетом 17 *м*, обеспечивающей вибропогружение и последующее вибровыдергивание взрывных труб при помощи подвешенного к стреле вибропогружателя ВПП-2А;

инвентарные оголовники для дренажных скважин;

инвентарные элементы (разводящие по дренажным скважинам воду) трубопроводов с кранами, вентилями и водомерами для каждой одновременно замачиваемой захватки;

полуинвентарные обсадные трубы диаметром 150 *мм*, герметически закрытые снизу заостренным наконечником и предназначенные для помещения в нижней их части заряда взрывчатых веществ.

32. Дренажные скважины необходимо изготовлять только механизированным путем без обсадных труб в соответствии с проектом, не допуская отклонений от проектных размеров более чем на 100 *мм* в плане и по глубине.

Для защиты пробуренных дренажных скважин от обвалов при последующей засыпке их в процессе замачивания, а также от размывов атмосферными ливневыми водами в верхних частях (горловинах) скважин обязательно устанавливаются металлические оголовники, изготовляемые из отрезков труб диаметром 400 и длиной 500—600 *мм*.

33. Заполнение дренажных скважин местными дренирующими материалами (шлаковым щебнем, чистым песком и др.) допускается только после предварительной проверки проектных размеров скважин (при установленных оголовниках) с составлением соответствующих актов на скрытые работы.

34. Контурные траншеи следует изготовлять по всему периметру или с опережением на одну захватку по отношению к захваткам дренажных скважин, на которых производится замачивание; при этом не допускаются отклонения от проектных размеров по их глубине, ширине и расположению в плане более $\pm 100$ *мм*; выемка из траншей разрыхленного грунта не обязательна.

35. Приступать к замачиванию дренажных скважин можно только после полного завершения всех подготовительных работ на подлежащей замачиванию захватке и после записи в журналах показателей водомеров и отсчетов по первой нивелировке захватки по поверхностным грунтовым маркам (до замачивания).

36. В процессе замачивания необходимо постоянно поддерживать одинаковый уровень воды во всех дренажных скважинах замачиваемой захватки (примерно на 100—300 *мм* ниже верха оголовников скважин), регулируя подачу воды в каждую скважину расположенными над ними вентилями или кранами.

37. Общий расход воды замеряется не менее двух раз в сутки по двум контрольным водомерам для каждой замачиваемой захватки и заносится в журнал.

Одновременно необходимо систематически выборочно контролировать поглощаемость нескольких наиболее характерных дренажных скважин с максимальной, средней и минимальной поглощаемостью воды по формуле

$$Q = 0{,}6 \ \frac{Fh}{t} \ ,$$

где $Q$ — поглощение дренажной скважиной воды, $м^3/ч$;

$F$ — площадь внутреннего сечения оголовников, $м^2$; при диаметре оголовника 0,4 *м* площадь $F = 0{,}1256$ $м^2$;

$t$ — время наблюдений, *мин*;

$h$ — понижение уровня воды в оголовнике, *см*, в течение $t$ *мин*.

Так, например, если в дренажной скважине с оголовником внутренним диаметром 0,4 *м* ($F = 0{,}1256$ $м^2$) на протяжении $t = 1{,}2$ *мин* уровень воды $h$ понизился на 30 *см*, то

$$Q = 0{,}6 \ \frac{0{,}1256 \cdot 30}{1{,}2} = 1{,}884 \ м^3/ч,$$

что характеризует эту скважину как вполне удовлетворительную.

38. Окончание работ по замачиванию на каждой захватке устанавливается по объему воды, залитой в дренажные скважины в соответствии с проектом (по отсчетам водомеров), что дополнительно характеризуется резким сокращением поглощаемости воды дренажными скважинами.

39. После заливания в дренажные скважины замачиваемой захватки необходимого количества воды и до начала распространения влажности за пределами участка в заранее подготовленные взрывные скважины закладывают заряды водостойкого взрывчатого вещества и производят глубинные взрывы.

40. Трубы диаметром 150 *мм* для взрывных скважин должны быть установлены в грунт до окончания работ по замачиванию при помощи вибропогружателя ВПП-2А и самоходного полноповоротного крана грузоподъемностью 16 *т*.

Можно применять также другой вариант совмещенных дренажных и взрывных скважин, при котором в готовую дренажную скважину диаметром 400 *мм* опускают взрывную трубу диаметром 150 *мм*, после чего дренажную скважину засыпают шлаком и заливают водой. Подготовку к взрыву ведут после окончания замачивания так же, как и по первому варианту.

41. Принятые размеры зарядов, упакованных в предварительно сшитые из плотного материала продолговатые мешочки, диаметр которых должен быть

несколько меньшим внутреннего диаметра взрывных труб, опускаются в скважины на бечевках, остающихся в трубе. Опускать заряд на проводах, идущих к детонаторам, категорически запрещается.

42. Перед опусканием заряда в скважину необходимо ее проконтролировать опусканием груза размерами, на несколько миллиметров большими диаметра упакованного заряда.

43. Тампонирование подготовленных к взрывам скважин после установки в них зарядов необходимо предусматривать путем обычной засыпки их грунтом с одновременной заливкой водой (из шланга) до текучей консистенции грунта.

44. Взрывные работы следует производить с соблюдением действующих правил производства взрывных работ и техники безопасности и с учетом указанных выше рекомендаций.

45. Сразу после окончания взрывов необходимо произвести вибровыдергивание взрывных инвентарных труб, что способствует ускорению процесса окончательной стабилизации уплотнения грунта с дополнительным повышением его плотности примерно до 10—15%.

Вибровыдергивание производится краном К-161 с вибропогружателем ВПП-2А. После извлечения взрывных труб из грунта отрезают их взорванные части или наращенные наконечники и промывают оставшуюся после взрыва трубу (за пределами уплотняемого участка), а затем приваривают наконечник и смазывают битумом шов.

46. Монтируют и демонтируют все инвентарные элементы (секции разводящего трубопровода, вставки, гибкие соединения, оголовники, трубы для взрывных скважин и поверхностных марок) в соответствии с технологической последовательностью, отраженной в соответствующих циклограммах.

47. При производстве работ необходимо соблюдать требования действующих СНиП II-Б.10—62, СНиП III-Б.1—62, СНиП III-А.11—62, а также «Единых правил безопасности при взрывных работах» Госкомитета по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору и др.

48. Качество проведенного уплотнения следует контролировать нивелировкой по поверхностным грунтовым маркам (до начала, в процессе и после окончания работ по уплотнению) с точностью $\pm 2$ *мм*, с сопоставлением фактических и предполагаемых по расчету возможных осадок поверхности грунта.

49. Возведение фундаментов зданий и сооружений на основаниях, подвергшихся ускоренному способу глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и взрывами, допускается сразу после проведения взрывных работ. При этом вначале устраивают грунтовую подушку послойным уплотнением укаткой или трамбованием верхней части просадочных грунтов (в соответствии со СНиП II-Б.1—62 и РСП 142—65) с последующим возведением на ней фундаментов здания.

50. При уплотнении просадочных грунтов в застроенных районах, когда требуется максимально сократить распространение воды вокруг уплотняемых участков, можно применять местные участки водозащитных экранов, изготовляемые из двух рядов грунтонабивных свай по новой технологии НИИ оснований, размещаемых в два ряда на расстоянии 1 *м* один от другого (в осях свай). Грунтонабивные сваи следует делать на всю уплотняемую просадочную толщу грунтов, размещая их в шахматном порядке на расстоянии 1,25 *м* в осях. Такие водозащитные экраны располагают сразу за контурными траншеями.

Стоимость 1 $м^2$ такого экрана составляет 6 р. 03 к. (по утвержденным расценкам для Запорожья, где 1 *м* длины одной грунтонабивной сваи диаметром 0,4—0,5 *м* стоит 3 р. 14 к., а с накладными расходами и плановыми накоплениями в 19,996% — 3 р. 77 к.).

## Экономика

51. Предварительная проектная сметная стоимость ускоренного глубинного уплотнения 1 $м^2$ просадочных лессовых грунтов мощностью 15, 17 и 20 *м*, включающая дополнительное поверхностное уплотнение верхних слоев просадочных грунтов грунтовой подушкой мощностью 2 *м*, изготовляемой из местного грунта послойной укаткой, определена на основе:

результатов экспериментальной проверки этого способа уплотнения в натурных производственных условиях в Запорожье в 1964—1966 гг.;

данных трех экспериментальных проектов по применению этого способа уплотнения просадочных лессовых грунтов мощностью от 17 до 25 *м* (в основаниях девяти промышленных объектов, занимающих площадь около 50000 $м^2$; для одного жилого дома повышенной этажности; для одного типового 5-этажного крупнопанельного дома), проведенных отделом оснований, фундаментов и механики грунтов НИИСКа совместно с УкрНИИпроектом (Киев) и Запорожском отделением ГПИ Укргорстройпроекта;

результатов первого промышленного освоения этого способа на строительстве экспериментального дома № 1 по ул. Северной в Запорожье в 1967 г.;

цен и норм, введенных с 1/VII 1955 г. по каталогу единичных расценок для составления смет к типовым проектам зданий и сооружений. На работы, по которым отсутствовали единичные расценки, лабораторией экономики строительных конструкций НИИСКа Госстроя СССР (Киев) были составлены дополнительные расценки. При составлении сметно-финансовых расчетов накладные расходы на строительно-монтажные работы принимались в размере 16,7%, плановые накопления — 2,5%.

52. Проектная стоимость строительных работ по ускоренному глубинному уплотнению просадочных лессовых грунтов с дополнительным поверхностным уплотнением верхних слоев грунтовой подушкой мощностью 2 *м*, изготовленной из местного грунта послойной укаткой (включая накладные расходы и плановые накопления), приведена в табл. 22.

**Приложение 2**

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ АВТОРА, В КОТОРЫХ БОЛЕЕ ПОДРОБНО ОСВЕЩЕНЫ ВОПРОСЫ, ЗАТРОНУТЫЕ В КНИГЕ

1. Литвинов И. М. Опыт строительства Южнотрубного металлургического завода (Никопольстрой) на лессовых грунтах. Сб. «Строительство на лессовидных грунтах». М.— Харьков, Госстройиздат, 1939.

2. Литвинов И. М. Допускаемые давления на лессовые грунты в зависимости от степени их просадочности. «Технический бюллетень ЮжстройЦНИЛ». Х., 1940, № 2/5.

3. Литвинов И. М. Исследование строительных свойств грунтов с ненарушенной структурой. Харьков, ОНТИ, 1937.

4. Литвинов И. М. Исследование грунтов в полевых условиях. М.— Харьков, Углетехиздат, 1951.

5. Литвинов И. М. Прибор для ускоренного определения основных физических характеристик грунтов при контроле за качеством производства земляных работ. К., Изд-во АСиА УССР, 1954.

6. Литвинов И. М. Прибор для испытания грунтов на сдвиг в полевых условиях. К., Изд-во АСиА УССР, 1954.

7. Литвинов И. М. Приборы для исследования грунтов в полевых условиях. К., Изд-во АСиА УССР, 1954.

8. Литвинов И. М. Сушильный шкаф для полевых исследований. К., Изд-во АСиА УССР, 1954.

9. Литвинов И. М. Исследование грунтов в полевых условиях. Второе, переработанное и дополненное издание. М., Углетехиздат, 1954.
10. Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов полевой лабораторией системы И. М. Литвинова И-203-56 (МСПМХП). М., Госстройиздат, 1956.
11. Литвинов И. М. Определение коэффициентов сдвига и трения в грунтах с ненарушенной структурой. М., ТЕХСОЦИТЭИН при Госплане СССР. 1934, № 4798. Серия 69.
12. Литвинов И. М. Новая методика и прибор для отбора образцов грунта с ненарушенной структурой и определения их основных физических показателей. Харьков, «Индустриальное строительство», 1936, № 5.
13. Литвинов И. М. Полевые лабораторные установки для испытания грунтов. К., Изд-во АСиА УССР, 1951.
14. Литвинов И. М. Прибор для испытания грунтов на сдвиг в полевых условиях. ТЭКСО Института технико-экономической информации АН СССР. М., 1955, № 1472/23.
15. Литвинов И. М. Сушильный шкаф для полевых исследований грунтов. ТЭКСО Института технико-экономической информации АН СССР. М., 1955, № 1458/21.
16. Литвинов И. М. Прибор для ускоренного определения основных физических характеристик грунтов в полевых условиях. ТЭКСО Института технико-экономической информации АН СССР. М., 1955, № 1467/22.
17. Полевая лаборатория для ускоренных испытаний строительных свойств грунта. Изобретение И. М. Литвинова (ЮжНИИ). БРИЗ Минметаллургхимстроя РИ-589 «Рекомендованные изобретения и технические усовершенствования». М., Госстройиздат, 1955.
18. Паспорт полевой экспресс-лаборатории ПЛЛ-9. Харьков, ХЗМИ, 1957.
19. Паспорт прибора для испытаний грунтов на сдвиг в полевых условиях П9-С. Харьков, ХЗМИ, 1957.
20. Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов полевой лабораторией системы И. М. Литвинова ПЛЛ-9. Харьков, Харьковское книжное издательство, 1963.
21. Прибор системы инж. И. М. Литвинова для осушения лессовых грунтов. ТЕХСОЦИТЭИН при Госплане СССР. М., 1940, № 1967.
22. Литвинов И. М. Строительство крупнопанельных зданий на просадочных грунтах и над горными выработками. «Строительство и архитектура», 1961, № 11.
23. Літвінов І. М. До питання розвитку крупнопанельного домобудування на просадочних грунтах в УРСР. «Вісник Академії будівництва і архітектури УРСР», 1962, № 2.
24. Литвинов И. М. О строительстве крупнопанельных жилых домов на просадочных грунтах и над горными выработками в Украинской ССР. Материалы совещания по закреплению и уплотнению грунтов (11—14/IV 1962). К., Изд-во АСиА УССР, 1962.
25. Литвинов И. М. Основные теоретические вопросы развития крупнопанельного строительства на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях. Труды VI сессии Академии строительства и архитектуры Украинской ССР. К., 1962.
26. Литвинов И. М. О развитии крупнопанельного строительства на просадочных лессовых грунтах УССР на основе натурных исследований экспериментального строительства. Сб. «Вопросы строительства на лессовых грунтах. Материалы Всесоюзной научной межвузовской конференции». Воронеж, Изд-во Воронежского университета, 1963.
27. Литвинов И. М. Особенности крупнопанельного строительства в сложных грунтовых условиях Украинской ССР. Сб. «Строительные конструкции». Вып. 1. К., «Будівельник», 1965.
28. Литвинов И. М. Натурные испытания крупнопанельных зданий на просадочных грунтах УССР. Сб. «Строительные конструкции». Вып. 2. К., «Будівельник», 1965.

29. Комплексные экспериментальные исследования крупнопанельных жилых домов на просадочных грунтах. Техническая информация. Харьковский ПромстройНИИпроект Госстроя СССР. К., 1964.
30. Литвинов И. М. Усиление фундаментов без перерыва в эксплуатации сооружений. «Строительная промышленность», 1936, № 7.
31. Литвинов И. М., Ржаницын Б. А., Безрук В. М. Укрепление грунтов в строительных целях. Сб. «Доклады к V Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению». М., Госстройиздат, 1961.
32. Литвинов И. М. Укрепление слабых оснований методом замены изобарной зоны местных перенапряжений. Харьков, Изд. ОНТИ, 1934.
33. Литвинов И. М. Распределение напряжений под подошвой фундаментов. Сборник научных трудов УкрНИИсооружений. 1935, № 6/13.
34. Литвинов И. М. Термическое укрепление просадочных лессовых и других грунтов в основаниях различных зданий и сооружений. К., Изд-во АСиА УССР, 1955.
35. Литвинов И. М. Термическое укрепление просадочных лессовых и других грунтов в основаниях зданий и сооружений. ИТЭИ АН СССР, тема 32, № И-56-53. М., 1956.
36. Літвінов І. М. Теоретичні основи термічного методу зміцнення грунтів. «Вісник Академії будівництва і архітектури УРСР», 1960, № 3.
37. Литвинов И. М. Теоретические основы термического метода укрепления грунтов. «Труды совещания по теоретическим основам технической мелиорации грунтов». М., Изд-во МГУ, 1961.
38. Литвинов И. М. Основные требования к проектированию и производству работ по термическому укреплению грунтов. К., Изд-во АСиА УССР, 1954.
39. Литвинов И. М. Новое в термическом закреплении грунтов. Сб. «Материалы IV Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов». Тбилиси, изд-во ГПИ, 1964.
40. Литвинов И. М. Инструкция по термическому укреплению просадочных макропористых (лессовидных) грунтов И-202-55 (МСПМХП). М., Госстройиздат, 1956.
41. СНиП III-Б.5—62*. Стабилизация и искусственное закрепление грунтов. Правила организации, производства и приемки работ. М., Госстройиздат, 1963.
42. Литвинов И. М. Укрепление просадочных лессовых и слабых грунтов при помощи специальных гидравлических уплотнителей. ТЕХСОЦИТЭЙН при Госплане СССР. М., 1940, № 1815.
43. Литвинов И. М. Уплотнение слабых и просадочных грунтов при помощи гидравлических уплотнителей. «Сборник трудов V Всесоюзного совещания по укреплению и уплотнению грунтов». Новосибирск, 1966.
44. Литвинов И. М. Термическое укрепление просадочных лессовидных грунтов. «Строительная промышленность», 1955, № 10.
45. Инструкция по усилению и восстановлению железобетонных конструкций методом инж. И. М. Литвинова. Харьков, 1948.
46. Литвинов И. М. Ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов 2-го типа предварительным замачиванием и направленными взрывами. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1966, № 2.
47. Литвинов И. М. Ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности. «Сборник трудов V Всесоюзного совещания по укреплению и уплотнению грунтов». Новосибирск, 1966.
48. Литвинов И. М. Изменение свойств просадочных лессовых грунтов по глубине после их уплотнения замачиванием и энергией взрывов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1967, № 5.
49. Літвінов І. М. Конференція по механіці гірничих порід в інженерно-будівельній практиці в м. Брно, Чехословаччина. «Вісник Академії будівництва і архітектури УРСР», 1958, № 4.

50. Литвинов И. М. IV Международный Конгресс по механике грунтов и фундаментостроению. «Строительство и архитектура», 1958, № 2.
51. Литвинов И. М. Обмен делегациями ученых и специалистов между СССР и США. «Промышленное строительство и инженерные сооружения». К., Изд. Госстроя УССР и АСиА УССР, 1959, № 1.
52. Літвінов І. М. Радянські спеціалісти з механіки і фундаментобудівництва в Сполучених Штатах Америки. «Вісник Академії будівництва і архітектури УРСР», 1959, № 3.
53. Літвінов І. М. Індійський національний науково-технічний симпозіум по дослідженню несучої здатності грунтів. «Вісник Академії будівництва і архітектури УРСР», 1961, № 2.
54. Литвинов И. М. О некоторых вопросах строительства в сложных грунтовых условиях Украинской ССР. Доклад, обобщающий опубликованные труды автора. К., Изд. КИСИ, 1966.
55. Литвинов И. М. Изменение свойств просадочных лессовых грунтов по глубине после их уплотнения замачиванием и энергией взрывов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1967, № 6.
56. Литвинов И. М., Акимов А. А. Способ принудительного зонального замачивания просадочных лессовых грунтов большой мощности при их глубинном уплотнении. «Новая техника и передовой опыт в строительстве». Вып. 3. Упрочнение оснований и устройство фундаментов. К., изд. НИИСП, 1967.
57. Литвинов И. М. Глубинное уплотнение просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и энергией взрывов. ВДНХ СССР. К., Изд. НИИСП, 1967.
58. Литвинов И. М. Опыт глубинного уплотнения просадочных грунтов с применением энергии взрывов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1968, № 6.
59. Литвинов И. М. Глубинное уплотнение просадочных грунтов. «Строительство и архитектура». К., 1968, № 12.
60. Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов полевой лабораторией И. М. Литвинова (И-203-56/МСПМХП). На китайском языке. КНР, Пекин, 1958.
61. Инструкция по термическому укреплению просадочных макропористых (лессовых) грунтов (И-202-55/МСПМХП). Автор Литвинов И. М. На китайском языке. КНР, Пекин, 1957.
62. Литвинов И. М. Термическое укрепление просадочных лессовых и других грунтов в основаниях различных зданий и сооружений. На китайском языке. КНР, Пекин, 1958.
63. Litvinov I. M. Badanie gruntow w warunkach polowych «Biblioteka zawodowa geologa» metody pracy, 31, Warszawa, wydawnictwa Geologiczne, 1—240, 1956.
64. Kellner P. Trusa geotehnica de santier, sistem Litvinov. «Industria constructiilor sia materialelor de constructii», Anul V, Februarie, Bucuresti, 1954, No. 2.
65. Litvinov I. M. (USSR). Portable Equipment «Type-9» which is Introduced for Field Geotechnical Investigation. «Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering», London, 12—24 August, 1957. Butterworths Scientific Publications, Volume III, Page VI, 130, 131, 1958.
66. Litvinov I. M. (USSR). «Methods and Devices for Field Investigations of Soils». Member of the Academy of Construction and Architecture of the Ukrainian SSR. «Journal of the National Building Organisation». New Delhi, India. Symposium: Load Bearing Capacity of Soils. 1961, April, Volume VI, No. 2.
67. Litvinov I. M. (USSR). Equipment for Field Geotechnic Investigation of Soils. Soil and Foundation Engineering in the Union of Soviet Socialist Republics. National Academy of Sciences. National Research Council (publication 806). Highway Researh Board (Special Report 60). A Report on the Exchange

Visit of an American Delegation September 14 — October 5, 1959 with the Papers Presented by Visiting Soviet Soil Scientists and Engineering in the United States, May 31, June 21, 1959. Wachington, D. C. 1960.

68. Portable Field Laboratory. Directions for Investigating of Soils Using the Portable Field Laboratory ПЛЛ-9 Devised by I. M. Litvinov (See patent certificates 93327, 93328, 97158).

69. Instrument «ЗМИ» Directions for Operation of П9-С Instrument for Shear Testing of Soils Under Field Conditions (See patent certificates 97158 I. M. Litvinov).

70. Litvinov I. M. Methods and Devices for Field Investigations of Soils. (Paper Presented at the Scientific Conference on Problems Dealing with the «Bearing Capacity of Soils», India, January, 1961).

71. «Monthly Review of Engineering Developments in the USSR». Soil Stabilization by a Thermal Treatment. «Civil Engineering and Public Works Review», December, 1955, vol. 50, No. 594, p. 1345—1346, London W. C. 2 England.

72. Litvinov I. M. «Methods of Thermal Consolidation for Use on Permeable Clawey Soils». «Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering». London, 12—14 August, 1957. Butterworths Scientific Publications, Volume III, page VII, 169.

73. Inz. dr. Arnost Dvorak. Le sovětskě vedy a techniky zpevňovani spraši v SSSR termicke zpevneni spraši, «Inzenyrske stavby», 1958, No. 6.

74. USSR — USA. Soils and Engineering Seminar. «News of the Soil Mechanics and Foundations division of ASCE», Journal of the soil mechanics and foundations division proceedings of the American society of civil engineers, August 1959 — 30, Volume 85 NO SM 4, Part 2.

75. Soviet Contributions to soil Engineering Seminars in the U. S., «News of the soil mechanics and foundations division of ASCE», Journal of the soil Mechanics and foundations division proceedings of the American society of civil engineers. October, 1959 — 41, Volume 85, NO SM 5, Part 2.

76. Litvinov I. M. Addresses national academy of sciences. «News of the soil mechanics and foundations division of ASCE». Journal of the soil mechanics and foundations division proceedings of the American society of civil engineers, December, 1959 — 49, Volume 85, No, SM 6, Part 2.

77. Soils Stabilized by Heat Soviets Tell Seminars «Civil engineering» the Magazine of Engineered Construction, September (vol. p. 655) 81, 1959, No. 9.

78. Litvinov I. M. (USSR). Stabilization of Settling and Weak Clayey Soils by Thermal Treatment. Soil and Foundation Engineering in the Union of Soviet Socialist Republic. National Academy of Sciences. National Research Council (publication 806) Highway Research Board (Special Report 60). A report on the Exchange Visit of an American Delegation September 14 — October 5, 1959 with the Papers Presented by Visiting Soviet Soil Scientists and Engineers in the United States, May 31. June 21, 1959. Wachington, D. C. 1960.

79. Josef Havlicek, Jaroslav Feda. Principal demands on the design and operation of thermal Soil — stabilization schemes (in Russian). «Institute of Theoretical and Applied Mechanics. Czechoslovak Academy of Sciences. Prague — «Technical sntl Digest». A Monthly Review of Technology and Science in Socialist Countries, October, 1961, Volume III, No. 10.

80. Litvinov I. M. (USSR). Stabilization of Soil for Constructional Purposes. By I. M. Litvinow, Member of the Academy of Construction and Architecture of the Ukr. SSR (Section I. Thermal Stabilization of Clay Soils). Proceedings of the Fifth, International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Paris, 17th to 22th July, 1961. Stabilisation des sols dans la construction. Comptes Rendus du Cinquieme Congres International de Mecanique des Sols te des Travaux de Foundations Paris, du 17 an 22 Juillet, 1961.

81. Litvinov I. M. (USSR). Pile Foundations from the Thermally Reinforced Soils. «Symposium on Bearing Capacitv of Piles» (Held under the Auspices of the Central Building Research Institute, at Roorkee during 24—26 February, 1964). New-Delhi. India, 1964.

82. Litvinov I. M. (USSR). Authors Replies. «Proceedings of the Symposium on Bearing Capacity of Piles», Part II. (Held at the Central Building Institute, Roorkee, on 24—26. February, 1964). Remaining Papers Discussions. New-Delhi. India, 1964.
83. «The Value of the American-Russian Exchange Visits». I. M. Litvinov, Chairman, the Soviet Delegation (National Academy of Sciences, Wachington, D. C., June 18. 1959). Soil and Foundation Engineering in the Union of Soviet Socialist Repuhlics. National Academy of Sciences. National Research Council (publication 806). Highway Research Board (Special Report 60). A Report on the Exchange Visit of on American Delegation September 14 — October 5, 1959 with the Papers Presented by Visiting Soviet Soil Scientists and Engineers in the United States, May 3I. June 21, I959, Wachington, D. C. 1960.
84. «Soils Stabilized by Heat Soviets Tell Seminars». «Civil Engineering» the Magazine of Engineered Construction, September. (Vol. p. 655) 81, 1959, No. 9.
85. «Die Verfestigung des Baugrundes durchr thermische Behandlung» (Abb. 1196—1201; 1246—1248). Dr. ing. prof. Karl F. G. Keil. Direktor des Institute für Geotechnik und Ingeniergeologie an der Hochshule für Verkehrswesen, Dresden. «Geotechnik» ved Wilhelm Knapp Veriag Halle (Saale), I959.
86. Litvinov I. M. A New Method the Deep Compaction of Settling Loess Soils of Large Thickness. «Simposium on site Investigations for Foundations». Proceedings of the Central Building Research Institute, at Roorkee, 6—8 March, 1967. Volume I, Pages 240—248. New-Delhi, India, 1967.
87. Litvinov I. M. (USSR). Authors Replies «Proceedings of the Sumposium on site Investigations for Foundations», Proceedings of the Central Building Research Institute, at Roorkee, 6—8 March, 1967. Discussions, Volume II, Pages 90—93, New-Delhi, India, I968.
88. Thermal soil stabilizations. Sanshin Kensetsu Kogyo Co., LTD. Tokyo, Japan, 1967.
89. Litvinov I. M. (USSR). Pile Foundation from the Thermally Reinforced Weak Soils. Japan, Tokyo, Sanchin Kensetsu K. K., I968.
90. Litvinov I. M. (USSR). «Errichtung von Plattenbauten unter schwierigen Baugrundverhältnissen». Bauzeitung No. 11. November, I967, 583—587, Berlin.
91. Литвинов И. М. Способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и направленными вибрациями. Сб. «Материалы к VI Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению грунтов (теория и методы искусственного улучшения грунтов различных петрографических типов). Москва, 3—5 февраля 1969 г.». М., изд-во МГУ, I968.
92. Литвинов И. М. Изменение свойств просадочных лессовых грунтов по глубине после их уплотнения способом замачивания и энергией взрывов. Сб. «Материалы к VI Всесоюзному совещанию по закреплению и уплотнению грунтов (теория и методы искусственного улучшения грунтов различных петрографических типов). Москва, 3—5 февраля 1969 г.». М., изд-во МГУ, 1968.

**Приложение 3**

## ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ РЕСПУБЛИКАНСКИХ, ВСЕСОЮЗНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ СОВЕЩАНИЙ, СИМПОЗИУМОВ, КОНГРЕССОВ И ЗАРУБЕЖНЫХ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ГДЕ БЫЛИ ДОЛОЖЕНЫ И ОБСУЖДЕНЫ ОТДЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АВТОРА ПО МАТЕРИАЛАМ, ИЗЛОЖЕННЫМ В КНИГЕ

Второе Всесоюзное совещание по строительству иа лессовидных грунтах. Доклад: «Опыт строительства Южнотрубного металлургического завода (Никопольстрой) на лессовых грунтах с результатами исследоваиий просадочных свойств лессовых грунтов УССР, водозащитных мероприятий, разных способов укрепления этих грунтов и рекомендации по строительству на лессовых грунтах». Запорожье (УССР), март 1938.

Всесоюзное совещание по ускоренным методам исследования грунтов, проведенное комиссией по проблемам строительства и стройматериалов при отделении технических наук Академии наук СССР и ВНИТО строителей. Доклад: «О разработанных автором методиках и приборах для ускоренных исследований строительных свойств грунтов». Москва, (СССР), март 1951.

Украинское республиканское совещание проектных, научно-исследовательских и строительных организаций, проведенное ЦК КП(б)У и Советом Министров УССР. Доклад: «Об исследованиях строительных свойств грунтов в полевых условиях». Киев (УССР), ноябрь 1951.

Чехословацкий институт индустриализации строительства. Доклад: «О методиках и приборах автора для исследования физико-механических и строительных свойств грунтов в полевых и лабораторных условиях». Прага (Чехословакия), март 1956.

Чехословацкий институт строительной геологии. Доклад: «О методиках и приборах автора для исследования физико-механических и строительных свойств грунтов в полевых и лабораторных условиях». Прага (Чехословакия), март 1956.

Чехословацкая Академия наук. Доклад: «О научно-исследовательских работах в области оснований, фундаментов и механики грунтов, проводимых в Украинской ССР и, в частности, о работах автора». Прага (Чехословакия), март 1956.

Институт строительства и архитектуры Словацкой Академии наук. Доклад: «О методиках исследований деформировавшихся в результате неравномерных осадок зданий и сооружений и о способах их усиления». Братислава (Чехословакия), апрель 1956.

Доклад: «О термическом укреплении, для особых условий, просадочных лессовых и слабых глинистых грунтов». Брно (Чехословакия), апрель 1956.

Украинское Республиканское совещание по строительству на лессовых грунтах. Доклад: «О термическом закреплении грунтов в основаниях промышленных и гражданских зданий и сооружений». Днепропетровск, май 1957.

IV Международный конгресс по механике грунтов и фундаментостроению. Научные сообщения: «О термическом способе закрепления грунтов» и «О приборах для исследования физико-механических и строительных свойств грунтов в полевых условиях». Лондон (Англия), август 1957.

Первое Всесоюзное совещание по закреплению и уплотнению слабых грунтов. Научное сообщение: «О термическом закреплении грунтов». Рига (Латвийская ССР), сентябрь 1957.

Сессии Академий строительства и архитектуры Украинской ССР. Доклады: «О ежегодных и перспективных планах научной деятельности Академии в области оснований, фундаментов и механики грунтов», «Об исследованиях и способах укрепления просадочных лессовых грунтов и рекомендациях по развитию крупнопанельного и крупноблочного строительства на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях в Украинской ССР» и др. Киев (УССР), 1957—1963.

Всесоюзное совещание по индустриальным методам устройства оснований и фундаментов. Доклад: «О термическом закреплении просадочных лессовых грунтов». Таллин (Эстонская ССР), февраль 1958.

Чехословацкая Национальная конференция по механике горных пород в инженерно-строительной практике. Доклад: «О теоретических основах и практических рекомендациях по термическому закреплению разных глинистых грунтов». Брно (Чехословакия), октябрь 1958.

Украинское республиканское совещание по строительству крупноблочных и крупнопанельных зданий на просадочных лессовых грунтах. Доклад: «О путях развития крупноблочного и крупнопанельного строительства в Украинской ССР в условиях просадочных грунтов». Запорожье (УССР), февраль 1959.

Научный симпозиум в Массачусетском технологическом институте. Доклад: «О теоретических основах, результатах исследований и рекомендациях для проектирования и производства работ по термическому укреплению грунтов». Бостон (США), май 1959.

Научный симпозиум в Иллинойском университете. Доклад: «О теоретических основах, результатах исследований и рекомендациях для проектирования и производства работ по термическому укреплению грунтов». Чикаго — Урбэны (США), июнь 1959.

Научный симпозиум в Калифорнийском университете. Доклад: «Об ускоренных полевых и лабораторных исследованиях физико-механических и строительных свойств грунтов с применением рекомендуемых автором методик и приборов». Сан-Франциско (США), июнь 1959.

Президиум Американской Национальной Академии наук. Выступление: «Об общих вопросах состояния научных исследований в СССР по основаниям, фундаментам и механике грунтов и о ценности развития научных связей в этой отрасли науки между СССР и США». Вашингтон (США), июнь 1959.

Второе Всесоюзное совещание по теоретическим основам технической мелиорации грунтов. Доклад: «О теоретических основах термического метода закрепления грунтов». МГУ, Москва (СССР), февраль 1960.

Индийская Национальная конференция по несущей способности грунтов. Доклад: «О методах и приборах для полевых исследований строительных свойств грунтов». Нью-Дели (Индия), январь 1961.

Центральный исследовательский строительный институт Индии. Пресс-конференция для индийских специалистов в области механики грунтов и фундаментостроения (И. М. Литвинов — Киев, Академия строительства и архитектуры Украинской ССР и К. Е. Егоров — Москва, НИИ оснований). Рурки (Индия), январь 1961.

Мадрасский инженерный колледж Индии. Пресс-конференция и доклады: «О методах и приборах ПЛЛ-9 и П9-С для исследования строительных свойств грунтов в полевых и лабораторных условиях» (И. М. Литвинов) и «О расчете оснований зданий и сооружений по деформациям» (К. Е. Егоров). Мадрас (Индия), февраль 1961.

Бомбейский технологический институт. Научное сообщение: «О достижениях СССР и УССР в области развития науки о механике грунтов и фундаментостроении и, в частности, о некоторых работах автора». Бомбей (Индия), февраль 1961.

Центральная исследовательская лаборатория по механике грунтов и бетонам Департамента общественных работ штата Мадрас. Научное сообщение: «О достижениях СССР и УССР в области развития науки о механике грунтов и фундаментостроении и, в частности, о некоторых работах автора». Мадрас (Индия), февраль 1961.

Калькуттский институт водного хозяйства. Научное сообщение: «О достижениях СССР и УССР в области развития науки о механике грунтов и фундаментостроении и, в частности, о некоторых работах автора». Калькутта (Индия), февраль 1961.

V Международный конгресс по механике грунтов и фундаментостроению. Раздел совместного доклада с профессорами Б. А. Ржаницыным и В. М. Безрук: «Термическое укрепление глинистых грунтов». Париж (Франция), июль 1961.

Украинское Республиканское совещание по строительству крупнопанельных домов на просадочных лессовых грунтах. Доклад: «О предварительных результатах натурных исследований экспериментального крупнопанельного дома № 33 в г. Запорожье после опытного замачивания просадочных грунтов под его фундаментами и предварительные рекомендации по развитию крупнопанельного строительства на просадочных грунтах УССР на основе этих исследований». Запорожье (УССР), февраль 1962.

Всесоюзная научная межвузовская конференция. Доклад: «О развитии крупнопанельного строительства на просадочных лессовых грунтах УССР на основе натурных исследований экспериментального строительства». Воронеж (РСФСР), февраль 1962.

III Всесоюзное совещание по закреплению и уплотнению грунтов. Доклад: «О строительстве крупнопанельных жилых домов на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях в Украинской ССР». Киев, апрель 1962.

Международный региональный симпозиум по свайным фундаментам в Индии. Доклад: «О свайных основаниях из термически закрепленных слабых глинистых грунтов». Нью-Дели (Индия), февраль 1964.

IV Всесоюзное совещание по закреплению и уплотнению грунтов. Доклад: «О новых предложениях и исследованиях автора по термическому закреплению грунтов». Тбилиси (Грузинская ССР), октябрь 1964.

V Всесоюзное совещание по закреплению и уплотнению грунтов. Доклады: «Ускоренный способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов большой мощности» и «Уплотнение слабых и просадочных грунтов при помощи гидравлических уплотнителей». Новосибирск (РСФСР), сентябрь 1966.

Международный симпозиум по исследованиям площадок для фундаментов в Индии. Доклад: «Новый метод глубинного уплотнения просадочных грунтов большой мощности». Нью-Дели (Индия), март 1967.

VI Всесоюзное совещание по закреплению и уплотнению грунтов (по теории и методам искусственного улучшения петрографических типов грунтов) доклады: «Способ глубинного уплотнения просадочных лессовых грунтов предварительным замачиванием и направленными вибрациями» и «Изменение свойств просадочных лессовых грунтов по глубине до и после их уплотнения замачиванием и энергией взрывов», Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова, февраль 1969 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИВАН МИХАЙЛОВИЧ ЛИТВИНОВ

**ГЛУБИННОЕ УКРЕПЛЕНИЕ И УПЛОТНЕНИЕ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ**

Редактор *Э. А. Полторацкая*
Обложка художника *А. М. Шоломий*
Художественный редактор *Н. С. Величко*
Технический редактор *М. Г. Минченко*
Корректор *Н. Курбанова*

БФ 00285. Сдано в набор 29. I. 1969 г. Подписано к печати 21. IV. 1969 г. Бумага типографская № 1, 60×90¹/₁₆=5,75 бумажных, 11,5 физ. и усл. печатных, 12,72 уч.-изд. л. Тираж 10.000. Цена 77 коп. Зак. 58.

Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.

Киевская книжная типография № 6, Киев, Выборгская, 84.

Отдел:покупка книг 40%

ТОВАРНЫЙ ЯРЛЫК N 9037

Книги (товар) ЛИТВИНОВ. ГЛУБИННОЕ УКР.

Кол-во 1 шт. Продажная цена :( 1 экз.) 100,00 [ ]

Сдатчик: Товаровед ________________ Бурденкова Н..

17/11/2005 17/11/2005

Прим.

100=

9037

77 коп.

БУДІВЕЛЬНИК